

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**

**Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade**

**Franciny Xavier Metzker Lyra**

**AVALIAÇÃO DE RISCO E DOS CENÁRIOS FUTUROS PARA O RIO TODOS OS  
SANTOS EM TEÓFILO OTONI, MINAS GERAIS, BRASIL**

**Teófilo Otoni - MG**

**2018**

**Franciny Xavier Metzker Lyra**

**AVALIAÇÃO DE RISCO E DOS CENÁRIOS FUTUROS PARA O RIO TODOS OS  
SANTOS EM TEÓFILO OTONI, MINAS GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino  
Colaborador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cleide Aparecida Bomfeti

**Teófilo Otoni - MG**

**2018**

Ficha Catalográfica  
Preparada pelo Serviço de Biblioteca/UFVJM  
Bibliotecária responsável: Graziela Lopes da Costa – CRB6 nº 2807

L992a    Lyra, Franciny Xavier Metzker.  
2018       Avaliação de risco e dos cenários futuros para o rio Todos os Santos  
em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil. / Franciny Xavier Metzker Lyra.  
Teófilo Otoni: UFVJM, 2018.  
82 p. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal dos  
Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de Pós-Graduação em  
Tecnologia, Ambiente e Sociedade, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino.  
Coorientadora: Profa. Dra. Cleide Bomfeti.

1. Qualidade da água. 2. Avaliação de risco. 3. Análise de cenários  
futuros. 4. Rio Todos os Santos. 5. Teófilo Otoni I. Título.

**CDD: 628.112**

FRANCINY XAVIER METZKER LYRA

**Avaliação de Risco e dos Cenários Futuros para o rio Todos os Santos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil**

Dissertação apresentada ao  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM TECNOLOGIA, AMBIENTE E  
SOCIEDADE – STRICTO SENSU,  
nível de MESTRADO, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
MAGISTER SCIENTIAE EM  
TECNOLOGIA, AMBIENTE E  
SOCIEDADE.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique  
Alexandrino

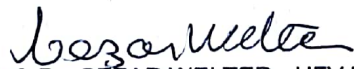
Data da aprovação: 28/05/2018



Prof. Dr. CARLOS HENRIQUE ALEXANDRINO - UFVJM



Prof. Dr. ALEXANDRE FAISSAL BRITO - UFVJM



Prof. Dr. CÉZAR WELTER - UFVJM



Prof. Dr. JAIRO LISBOA RODRIGUES - UFVJM

TEÓFILO OTONI

A Deus.

Aos meus pais.

.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por sua infinita misericórdia, amor e graça.

Agradeço aos meus pais, Vania Xavier Lyra e Iete José Metzker Lyra, por todos os conselhos e ensinamentos que foram determinantes para que eu chegasse até aqui.

Aos professores Carlos Henrrique Alexandrino e Cleide Aparecida Bomfeti pela orientação, dedicação e determinação que foram primordiais para o desenvolvimento desta pesquisa.

“É melhor conseguir a sabedoria do que o ouro puro. É mais proveitoso obter o entendimento do que a prata mais valiosa.”  
(PROVÉRBIOS, 16:16).

## RESUMO

A água é um recurso inerente a todos os seres vivos e como tal, indispensável à sobrevivência e manutenção dos ecossistemas. A profunda ligação da água com as atividades antropogênicas tem acarretado sérios prejuízos aos recursos hídricos, onde essa água de má qualidade empobrece populações que carecem do recurso, interferindo na economia local. A água pode ainda representar um importante veículo de transmissão de doenças hídricas, que podem ser originadas de excretas humanas e de animais, ou mesmo pela presença de substâncias químicas nocivas aos seres vivos. O rio Todos os Santos, como um dos principais rios da Bacia do Mucuri, abastece a cidade de Teófilo Otoni e têm sido alvo cada vez mais do uso desordenado e inadequado de suas águas, o que têm refletido diretamente na qualidade das mesmas. Diante do atual cenário em que se encontra o rio Todos os Santos e da sua importância para Teófilo Otoni, o presente trabalho teve por finalidade analisar a qualidade da água desse rio em um período de seis anos. Para isto foram feitas avaliações dos parâmetros físicos-químicos e bacteriológicos, cálculos de Análise de Risco para as populações que consomem essa água, cálculo dos Índices de Qualidade da Água e Índice de Estado Trófico, assim como a análise do Índice de Qualidade da Água ao longo dos anos, analisando o lançamento de cargas futuras sobre o rio por meio de cenários hipotéticos. Observou-se que os dados de quantificação de *Escherichia coli*, condutividade, alumínio e ferro, estiveram acima dos limites impostos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. Pelo cálculo de avaliação de risco, todos os elementos tóxicos estiveram dentro dos limites, não apresentando riscos significativos. O Índice de Qualidade da Água sofreu poucas variações com passar dos anos estando classificado na maioria dos casos como mediano. O Índice de Estado Trófico também apresentou poucas variações e para os casos analisados, o rio foi classificado como oligotrófico. Observou-se que as estimativas futuras apontam para um aumento pouco significativo das cargas poluentes e que mesmo para pontos distantes dos lançamentos de resíduos os valores de *Escherichia coli* se encontraram fora do limite e sua tendência com o passar dos anos é assim continuar. Pode-se concluir que o rio apresenta uma grande quantidade de contaminação fecal nos tempos presentes, e em análises futuras essa contaminação provavelmente acarretará uma série de patologias para população local.

**Palavras-chave:** Qualidade da água 1. Avaliação de risco 2. Análise de cenários futuros 3. Rio Todos os Santos 4. Teófilo Otoni 5.



## ABSTRACT

Water is a resource inherent in all living beings and as such, indispensable for the survival and maintenance of ecosystems. The deep connection of water with anthropogenic activities has caused serious damage to water resources, where poor water impoverishes populations that lack the resource, interfering in the local economy. Water can also represent an important vehicle for the transmission of waterborne diseases, which may originate from human and animal excreta or even by the presence of harmful chemicals in living beings. The Todos os Santos River, as one of the main rivers of the Mucuri Basin, supplies the city of Teófilo Otoni and has been increasingly targeted by the disorderly and inadequate use of its waters, which have directly reflected on their quality. In view of the current scenario of the Todos os Santos River and its importance for Teófilo Otoni, the purpose of this study was to analyze the water quality of this river over a period of six years. For this purpose, the physical-chemical and bacteriological parameters, the Risk Analysis calculations for the populations that consume the water, the calculation of the Water Quality Indexes and the Trophic State Index, as well as the Water Quality Index over the years, analyzing the launch of future cargoes on the river through scenarios. It was observed that the quantification data of *Escherichia coli*, conductivity, aluminum and iron, were above the limits imposed by the National Environment Council. By the risk assessment calculation, all the toxic elements were within the limits, presenting no significant risks. The Water Quality Index has undergone few variations with the passing of the years being classified in most cases as medium. The Trophic State Index also presented few variations and for the cases analyzed, the river was classified as oligotrophic. It was observed that future estimates point to a negligible increase in the pollutant loads and that even at points distant from waste releases, *Escherichia coli* values were off limits and their tendency over the years is to continue. It can be concluded that the river presents a great amount of fecal contamination in the present times, and in future analyzes this contamination will probably lead to a series of pathologies for local population.

**Keywords:** Water quality 1. Risk assessment 2. Future scenario analysis 3. Todos os Santos river 4. Teófilo Otoni 5.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Localização da bacia do rio Mucuri com destaque para a sua abrangência no estado de Minas Gerais..... | 17 |
| Figura 2 – Bacia hidrográfica do rio Todos os Santos.....                                                        | 18 |
| Figura 3 – Curvas médias específicas de parâmetros de qualidade da água.....                                     | 22 |
| Figura 4 – Poluição pontual e poluição difusa.....                                                               | 36 |
| Figura 5 – Avanço da instituição das políticas estaduais e de recursos hídricos.....                             | 39 |
| Figura 6 – Classificação dos rios segundo sua finalidade de uso.....                                             | 40 |
| Gráfico 1 – Tendência comportamental do IQA ao longo dos anos a partir de dados disponibilizados pelo IGAM.....  | 66 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Parâmetros de qualidade da água.....                                                                                                                                                                                                         | 20 |
| Tabela 2 – Pesos atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com sua relevância para o cálculo do índice de qualidade da água.....                                                                                                         | 21 |
| Tabela 3 – Classificação do índice de qualidade da água.....                                                                                                                                                                                            | 23 |
| Tabela 4 – Classes do índice de estado trófico (rios) e seu significado.....                                                                                                                                                                            | 35 |
| Tabela 5 – Limites de classificação de interesse (COPAM/CERH-MG) dos diferentes parâmetros de qualidade da água.....                                                                                                                                    | 41 |
| Tabela 6 – Cargas por tipo de rebanho.....                                                                                                                                                                                                              | 48 |
| Tabela 7 – Cargas de poluentes de acordo com uso do solo.....                                                                                                                                                                                           | 49 |
| Tabela 8 – Dados populacionais do censo IBGE.....                                                                                                                                                                                                       | 50 |
| Tabela 9 – Número de animais em Teófilo Otoni.....                                                                                                                                                                                                      | 50 |
| Tabela 10 – Áreas de uso e ocupação do solo em Teófilo Otoni.....                                                                                                                                                                                       | 50 |
| Tabela 11 – Número de animais em Minas Gerais.....                                                                                                                                                                                                      | 51 |
| Tabela 12 – Área de uso e ocupação do solo em Minas Gerais.....                                                                                                                                                                                         | 51 |
| Tabela 13 – Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas no rio Todos os Santos (Pedro Versiani – Teófilo Otoni/MG), nos anos 2012, 2015 e 2018 comparados com os dados preconizados pelo CONAMA e CETESB.....                             | 54 |
| Tabela 14 – Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas no rio Todos os Santos (Pedro Versiani – Teófilo Otoni/MG) e analisados pelo IGAM.....                                                                                            | 55 |
| Tabela 15 – Determinação da concentração de 19 elementos químicos nas amostras de água coletadas no rio Todos os Santos (Pedro Versiani – Teófilo Otoni/MG), nos anos de 2012, 2015 e 2018 e o valor máximo permitido desses elementos pelo CONAMA..... | 59 |
| Tabela 16 – Valores da Dose Média Diária (ADD) de diferentes elementos detectados em amostras de águas coletadas no rio Todos os Santos, nos anos de 2012, 2015 e 2018 e a Dose de Referência Diária (RfD).....                                         | 60 |
| Tabela 17 – Cocientes de Riscos (HQ) e Índices de Riscos (HI) para diferentes elementos químicos detectados nas amostras de água coletadas no rio Todos os Santos nos anos de 2012, 2015 e 2018.....                                                    | 61 |
| Tabela 18 – IQA e IET calculados para as amostras de água coletadas no rio Todos os Santos e os dados disponibilizados das coletas realizadas pelo IGAM para diferentes anos.....                                                                       | 63 |
| Tabela 19 – IQAs calculados de acordo com os dados disponibilizados pelo IGAM de 1997 a 2007.....                                                                                                                                                       | 65 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 20 – IQAs calculados de acordo com os dados disponibilizados pelo IGAM de 2008 a 2017.....                                                                                                                                                                     | 65 |
| Tabela 21 – Estimativa das cargas totais de <i>Escherichia coli</i> baseadas no crescimento da população de Teófilo Otoni/MG ao longo dos anos.....                                                                                                                   | 67 |
| Tabela 22 – Cargas totais de <i>Escherichia coli</i> para os rebanhos bovino, suíno e de aves.....                                                                                                                                                                    | 67 |
| Tabela 23 – Cargas totais de <i>Escherichia coli</i> para atividade pecuária.....                                                                                                                                                                                     | 68 |
| Tabela 24 – Cargas totais po área de uso e ocupação do solo ao longo dos anos.....                                                                                                                                                                                    | 69 |
| Tabela 25 – Cargas totais de uso e ocupação do solo ao longo dos anos.....                                                                                                                                                                                            | 69 |
| Tabela 26 – Carga total final de <i>Escherichia coli</i> gerados pela população, pecuária e uso e ocupação do solo ao longo dos anos.....                                                                                                                             | 70 |
| Tabela 27 – Carga de esgoto doméstico destinada a ETE e lançada no rio Todos os Santos com previsões para até o ano de 2050.....                                                                                                                                      | 70 |
| Tabela 28 – Concentração de <i>Escherichia coli</i> no ponto de mistura enre um determinado ponto de lançamento de esgoto doméstico e as águas do rio Todos os Santos com estimativas até o ano de 2050.....                                                          | 71 |
| Tabela 29 – Comportamento da concentração de <i>Escherichia coli</i> na mistura entre um determinadao ponto de lançamento de esgoto doméstico e as águas do rio Todos os Santos em virtude da distância do ponto de lançamento com estimativas até o ano de 2050..... | 72 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |                                                          |
|---------|----------------------------------------------------------|
| IGAM    | Instituto Mineiro de Gestão das Águas                    |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística          |
| ONU     | Organização das Nações Unidas                            |
| OMS     | Organização Mundial da Saúde                             |
| IQA     | Índice de Qualidade da Água                              |
| CETESB  | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo               |
| ATSDR   | <i>Agency for Toxic Substances and Disease Reistry</i>   |
| IARC    | <i>International Agency for Research on Cancer</i>       |
| NSC     | <i>National Safety Council</i>                           |
| WHO     | <i>Word Health Oranization</i>                           |
| IET     | Índice de Estado Trófico                                 |
| ETE     | Estação de Tratamento de Esgoto                          |
| ANA     | Agência Nacional de Saúde                                |
| CONAMA  | Conselho Nacional do Meio Ambiente                       |
| COPAM   | Conselho Estadual de Política Ambiental                  |
| CERH-MG | Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais   |
| ICET    | Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia            |
| UFVJM   | Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri |
| pH      | Potencial Hidrogeniônico                                 |
| OD      | Oxigênio Dissolvido                                      |
| FUNASA  | Fundação Nacional de Saúde                               |
| LST     | <i>Lauril Sulfato Triptose</i>                           |
| VB      | Verde Brilhante                                          |
| EC      | <i>Escherichia coli</i>                                  |
| NMP     | Número Mais Provável                                     |
| ANOVA   | Análise de Variância                                     |
| USEPA   | Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos         |
| ADD     | Dose Média Diária                                        |
| HQ      | Cociente de Risco                                        |
| HI      | Índice de Risco                                          |
| IETE    | Índice de Estado Trófico                                 |
| COPASA  | Companhia de Saneamento de Minas Gerais                  |

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| SD  | Desvio Padrão             |
| VMP | Valor Máximo Permitido    |
| RfD | Dose de Referência Diária |
| SF  | <i>Slope Factor</i>       |

## SUMÁRIO

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                      | <b>15</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                             | <b>17</b> |
| <b>2.1 Bacia hidrográfica do Mucuri .....</b>                  | <b>17</b> |
| <b>2.2 Qualidade da Água .....</b>                             | <b>18</b> |
| <b>2.3 Parâmetros de Qualidade da Água .....</b>               | <b>19</b> |
| <b>2.3.1 Oxigênio Dissolvido .....</b>                         | <b>23</b> |
| <b>2.3.2 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i> .....</b> | <b>23</b> |
| <b>2.3.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....</b>                | <b>24</b> |
| <b>2.3.4 Temperatura.....</b>                                  | <b>24</b> |
| <b>2.3.5 Turbidez .....</b>                                    | <b>25</b> |
| <b>2.3.6 Condutividade .....</b>                               | <b>25</b> |
| <b>3 Elementos Químicos Tóxicos .....</b>                      | <b>25</b> |
| <b>3.1.1 Alumínio (Al) .....</b>                               | <b>25</b> |
| <b>3.1.2 Arsênio (As) .....</b>                                | <b>26</b> |
| <b>3.1.3 Bário (Ba) .....</b>                                  | <b>27</b> |
| <b>3.1.4 Berílio (Be).....</b>                                 | <b>27</b> |
| <b>3.1.5 Cádmio (Cd).....</b>                                  | <b>27</b> |
| <b>3.1.6 Chumbo (Pb).....</b>                                  | <b>28</b> |
| <b>3.1.7 Cobre (Cu).....</b>                                   | <b>28</b> |
| <b>3.1.8 Cobalto (Co).....</b>                                 | <b>29</b> |
| <b>3.1.9 Cromo (Cr).....</b>                                   | <b>29</b> |
| <b>3.1.10 Ferro (Fe) .....</b>                                 | <b>29</b> |
| <b>3.1.11 Fósforo (P).....</b>                                 | <b>30</b> |
| <b>3.1.12 Lítio (Li) .....</b>                                 | <b>31</b> |
| <b>3.1.13 Manganês (Mn) .....</b>                              | <b>31</b> |
| <b>3.1.14 Níquel (Ni) .....</b>                                | <b>31</b> |
| <b>3.1.15 Prata (Ag).....</b>                                  | <b>32</b> |
| <b>3.1.16 Selênio (Se) .....</b>                               | <b>32</b> |
| <b>3.1.17 Urânio (U).....</b>                                  | <b>33</b> |
| <b>3.1.18 Vanádio (V).....</b>                                 | <b>33</b> |
| <b>3.2 Índice de Estado Trófico – IET .....</b>                | <b>34</b> |
| <b>3.3 Fontes de Poluição das Águas.....</b>                   | <b>35</b> |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4 Cargas Poluidoras .....                                                        | 36 |
| 3.5 Esgotos Sanitários .....                                                       | 37 |
| 3.6 Órgãos e meios eletrônicos para obtenção de dados de qualidade da água .....   | 38 |
| 3.7 Principais leis aplicadas aos recursos hídricos no Brasil .....                | 38 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                        | 42 |
| 4.1 Coletas .....                                                                  | 42 |
| 4.2 Análises Químicas e Físico-Químicas .....                                      | 42 |
| 4.3 Análise Microbiológica .....                                                   | 43 |
| 4.4 Análise Estatística .....                                                      | 43 |
| 4.5 Análise de Risco.....                                                          | 44 |
| 4.6 Análise do IQA e IET.....                                                      | 45 |
| 4.7 Análise da Tendência Comportamental do IQA ao longo dos anos .....             | 46 |
| 4.8 Análise de Cenários Futuros para os Parâmetros de Qualidade da Água .....      | 46 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                     | 54 |
| 5.1 Análises Químicas e Físico-Químicas .....                                      | 54 |
| 5.2 Análise de Risco.....                                                          | 59 |
| 5.3 Análise do IQA e IET.....                                                      | 62 |
| 5.4 Análise da Tendência Comportamental do IQA ao longo dos anos .....             | 63 |
| 5.5 Análise de Cenários Futuros para o Parâmetros de <i>Escherichia coli</i> ..... | 66 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                       | 73 |
| 7 REFERÊNCIAS .....                                                                | 75 |



## 1 INTRODUÇÃO

A ciência mostra que grande parte das células vivas é formada predominantemente por água e que todos os seres humanos dependem da água para viver (LODISH et al., 2014). Portanto, manter um controle e monitoramento das questões químicas e biológicas das águas torna-se essencial à sobrevivência humana.

Dado as necessidades urgentes, humanas e ambientais, em relação ao uso da água, diversas pesquisas, análises e coletas têm-se desenvolvido no sentido de gerar conhecimento sobre o comportamento e a qualidade dos corpos de água, suas tendências e o seu comprometimento ao longo do tempo, em especial pela presença de poluentes (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS [IGAM], 2017).

Segundo o IGAM (2017) para a avaliação da qualidade dos recursos hídricos são determinados nove parâmetros representativos: pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fosfato total, nitrato, turbidez, temperatura da água, sólidos totais, oxigênio dissolvido, e *Escherichia coli*.

A Bacia Hidrográfica do Mucuri, como afirma Silva (2010), abriga águas de uma porção muito importante do sul baiano e nordeste mineiro, sendo formada pelo encontro dos Rios Mucuri do Norte e do Sul, percorrendo cerca de 425 quilômetros antes de desaguar no mar e abrangendo cerca de 17 municípios. Neste cenário encontra-se o Rio Todos os Santos, que é um dos principais afluentes pela margem direita da Bacia, sendo um rio de grande importância para esta margem (SILVA; GODINHO, 2006).

Silva et al. (2006) dizem que a região do Rio Todos os Santos apresenta diversos problemas já detectados: assoreamento dos corpos d'água, lançamento de efluentes, pastagem degradadas, queimadas, falta de acesso à água potável, dentre outros. Entretanto, o Rio Todos os Santos é um rio de grande potencial agrícola, agropecuário e residencial sendo, portanto, de extrema importância o monitoramento e a avaliação da qualidade da água desse rio, que abrange uma vasta região da Bacia do Mucuri.

De acordo com o INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, 2010) a cidade de Teófilo Otoni é uma das principais cidades pertencentes à bacia hidrográfica do rio Todos os Santos, apresentando uma população em 2010 de 134745 habitantes, em uma área territorial de 3.242,27 km<sup>2</sup> e um PIB per capita de R\$ 15.379,33, o maior de sua microrregião.

Diante da importância do Rio Todos os Santos para a cidade de Teófilo Otoni e região, o presente trabalho teve como finalidade a análise da qualidade da água desse rio com

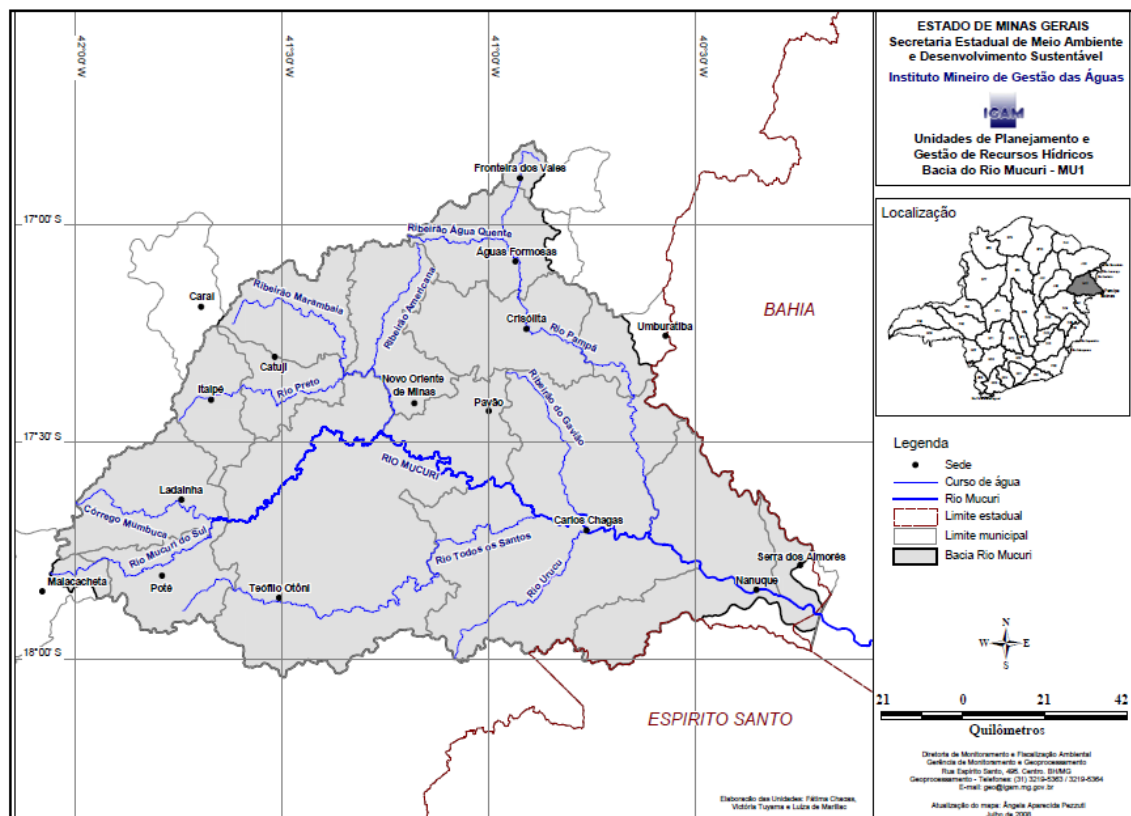
o passar dos anos, com o intuito de investigar possíveis melhoras ou pioras em seus índices. Além disto, foi feito o cálculo de análise de risco para se conhecer o potencial tóxico dos elementos químicos presentes na água desse rio sobre a população, e o cálculo da estimativa das cargas poluidoras locais para se conhecer os potenciais de poluição em anos futuros, assim como analisar as possíveis respostas do corpo receptor a estas cargas nos pontos de lançamento e para regiões mais distantes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Bacia hidrográfica do Mucuri

Segundo o IGAM (acesso em 4 fev. 2017), o território brasileiro apresenta uma grande diversidade de bacias hidrográficas, sendo as mesmas divididas em bacias principais e sub-bacias. Dentre as bacias hidrográficas brasileiras encontra-se a bacia hidrográfica do rio Mucuri, fazendo parte das bacias hidrográficas do Paraíba do Sul, conforme a Figura 1.

**Figura 1 – Localização da bacia do rio Mucuri com destaque para a sua abrangência no estado de Minas Gerais.**



Fonte: IGAM (acesso em 4 fev. 2017).

A Bacia Hidrográfica do Mucuri, como afirma Silva (2010), abriga águas de uma porção muito importante do sul baiano e nordeste mineiro, sendo formada pelo encontro dos Rios Mucuri do Norte e do Sul, percorrendo cerca de 425 quilômetros antes de desaguar no mar, abrangendo cerca de 17 municípios e possuindo uma área de 15.413 km<sup>2</sup>.

Essa bacia apresenta uma população de 318.858 habitantes, sendo o clima da região semiúmido, com período de seca variando entre quatro a cinco meses e uma disponibilidade hídrica situando-se entre 2 e 10 litros por segundo a cada quilômetro quadrado (IGAM, acesso em 4 fev. 2017).

O Rio Todos os Santos é um dos principais rios que compõe a Bacia Hidrográfica do Mucuri, apresentando uma extensão de 70 km desde sua nascente, no município de Poté, até a sua foz no Rio Mucuri, no município de Carlos Chagas. Esse rio que corta a zona urbana e rural da cidade de Teófilo Otoni, Minas Gerais (FIG. 2) é também o responsável por todo o abastecimento de água do município e de seus distritos, contando ao todo com uma população de 134.745 habitantes (IBGE, 2010). Nesta região o rio recebe descarga de resíduos sólidos e de efluentes domésticos, influenciando a qualidade de suas águas e comprometendo toda a população que faz o uso da mesma.

**Figura 2 – Bacia hidrográfica do rio Todos os Santos.**



Fonte: SILVA et al, (2006).

## 2.2 Qualidade da Água

A qualidade da água está intimamente ligada aos processos de poluição e contaminação dos rios, provocando alterações nos cursos d'águas em que suas características

iniciais são modificadas, e muitas vezes causam a inviabilização de seu uso para determinados fins (BRAGA et al., 2005).

A água pode representar um importante veículo de transmissão de doenças hídricas, que podem ser originadas de excretas humanos e de animais ou mesmo pela presença de substâncias químicas nocivas aos seres vivos. Cerca de 60% das internações anuais, no Brasil, são resultados da falta de saneamento e 30% das mortes de crianças com menos de um ano ocorrem por diarreia (MACEDO, 2001; FARACHE FILHO; DIAS, 2008; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2008; IBGE, 2008).

Mundialmente são quatro milhões de casos de diarreia por ano, enquanto que 72% das internações em hospitais são de pacientes vítimas de doenças de origem hídrica. A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca que a cada dólar investido em saneamento básico são economizados quatro a cinco dólares em despesas hospitalares, denotando a importância do saneamento para a população e para a gestão eficiente dos recursos públicos (MACEDO, 2001; FARACHE FILHO; DIAS, 2008; OMS, 2008; IBGE, 2008).

O Brasil recebe por ano uma abundante taxa pluviométrica que varia, sobre mais de 90% do seu território, entre 1.000 a 3.000 mm, e é dotado também, de uma vasta e densa rede de drenagem que nunca seca, sobre mais de 90% do território nacional (REBOUÇAS, 2003).

Apesar de o Brasil ser um dos países mais ricos em água doce do planeta, as cidades ainda enfrentam graves problemas hídricos como degradação dos cursos d'água, problemas de abastecimento, precariedade no saneamento básico, desmatamento de matas ciliares, lançamentos de efluentes e resíduos sólidos nos rios, exploração inadequada de nascentes, ocupação irregular nas margens dos rios,, manejo inadequado do solo para agricultura e pecuária, utilização de fertilizantes e pesticidas, entre outros (GOMES, 2011).

A Organização das Nações Unidas (ONU) por meio de seus relatórios descreve que a escassez de água já afeta todos os continentes, sendo que 1,2 bilhão de pessoas, ou quase um quinto da população mundial vive em áreas de escassez física de água, enquanto outras 500 milhões de pessoas estão se aproximando dessa situação. Outros 1,6 bilhão de pessoas, ou quase um quarto da população mundial, também enfrentam escassez de água, em que os países não possuem infraestrutura necessária para captar água de rios e aquíferos (ONU, 2006).

### **2.3 Parâmetros de Qualidade da Água**

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas desenvolveu uma forma para monitorar o meio aquático, propondo técnicas para avaliar a qualidade da água em diversos pontos do estado

de Minas Gerais. No caso da coleta para o Rio Todos os Santos, o IGAM realiza a avaliação da qualidade da água, próximo a nascente desse rio na região de Poté, e na região de Pedro Versiani (distrito de Teófilo Otoni). O ponto de coleta próximo a Pedro Versiani encontra-se após a estação de Tratamento de Esgoto sendo, portanto, um ponto estratégico para a determinação da qualidade da água desse rio (IGAM, 2017).

Segundo o IGAM (2017), para a avaliação da qualidade dos recursos hídricos são analisados diversos parâmetros que estão representados na Tabela 1, dentre os quais, podemos destacar o pH (potencial hidrogeniônico), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fosfato total, nitrato, turbidez, temperatura da água, sólidos totais, oxigênio dissolvido e *Escherichia coli*.

**Tabela 1 – Parâmetros de qualidade da água.**

| Parâmetros                                  |                                        |                              |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| Alcalinidade Bicarbonato                    | Demanda Bioquímica de Oxigênio-<br>DBO | Nitrogênio Amonical<br>Total |
| Alcalinidade Total                          | Demanda Química de Oxigênio-<br>DQO    | Nitrogênio Orgânico          |
| Alumínio Dissolvido                         | Densidade de Cianobactérias            | Óleos e Graxas               |
| Arsênio Total                               | Dureza (Cálcio)                        | Oxigênio Dissolvido-<br>OD   |
| Bário Total                                 | Dureza (Magnésio)                      | pH <i>in loco</i>            |
| Boro Total                                  | Dureza Total                           | Potássio                     |
| Cádmio Total                                | Ensaio de Toxicidade Crônica           | Selênio Total                |
| Cálcio                                      | Estreptococos Fecais                   | Sódio                        |
| Chumbo Total                                | Fenóis Totais                          | Sólidos Dissolvidos          |
| Cianeto Livre                               | Feoftina                               | Sólidos em Suspensão         |
| Cianotoxinas                                | Ferro Dissolvido                       | Sólidos Totais               |
| Cloreto Total                               | Fósforo Total                          | Substâncias tensoativas      |
| Clorofila a                                 | Macroinvertebrados bentônicos          | Sulfatos                     |
| Cobre Dissolvido                            | Magnésio Total                         | Sulfetos                     |
| Coliformes<br>Termotolerante/ <i>E.coli</i> | Manganês Total                         | Temperatura da Água          |
| Coliformes Totais                           | Mercúrio Total                         | Temperatura do Ar            |
| Condutividade Elétrica <i>in loco</i>       | Níquel Total                           | Turbidez                     |
| Cor Verdadeira                              | Nitrato                                | Zinco total                  |
| Cromo Total                                 | Nitrito                                |                              |

Fonte: IGAM, 2017.

Com o objetivo de trazer para população e para os governos uma real informação a respeito de como as atividades ligadas ao desenvolvimento influenciam o meio aquático, foi

desenvolvido um cálculo, no qual se permite obter o IQA, ou Índice de qualidade das águas, onde são distribuídos pesos aos nove parâmetros mais representativos e com maior influência sobre a poluição das águas. Estes nove parâmetros são considerados mais representativos e mais importantes para avaliação da qualidade da água, pois indicam com maior precisão que aquele meio se encontra poluído. Para a seleção destes nove parâmetros foi feita uma pesquisa juntamente com profissionais da área, onde cada um deles selecionou os parâmetros que para eles mais interessa no quesito qualidade da água. A cada parâmetro é atribuído um peso de acordo com sua relevância para o cálculo do IQA como descrito na Tabela 2 (IGAM, 2017).

**Tabela 2 – Pesos atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a sua relevância para o cálculo do índice de qualidade da água.**

| <b>Parâmetro</b>                           | <b>Peso - <math>w_i</math></b> |
|--------------------------------------------|--------------------------------|
| Oxigênio dissolvido - OD (mg/L)            | 0,17                           |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)        | 0,15                           |
| pH                                         | 0,12                           |
| Demanda bioquímica de oxigênio - DBO(mg/L) | 0,10                           |
| Nitratos (mg/L $\text{NO}_3^-$ )           | 0,10                           |
| Fosfato total (mg/L $\text{PO}_4^{2-}$ )   | 0,10                           |
| Temperatura da água(°C)                    | 0,10                           |
| Turbidez (UNT)                             | 0,08                           |
| Sólidos totais (mg/L)                      | 0,08                           |

Fonte: IGAM, 2017.

Segundo o IGAM (2017) para o cálculo do IQA é utilizado equação (EQUAÇÃO 1) onde é feito o produtório ponderado da qualidade do parâmetro  $i$  obtido, através da curva média específica de qualidade, conforme Figura 3.

$$\text{IQA} = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (\text{Equação 1})$$

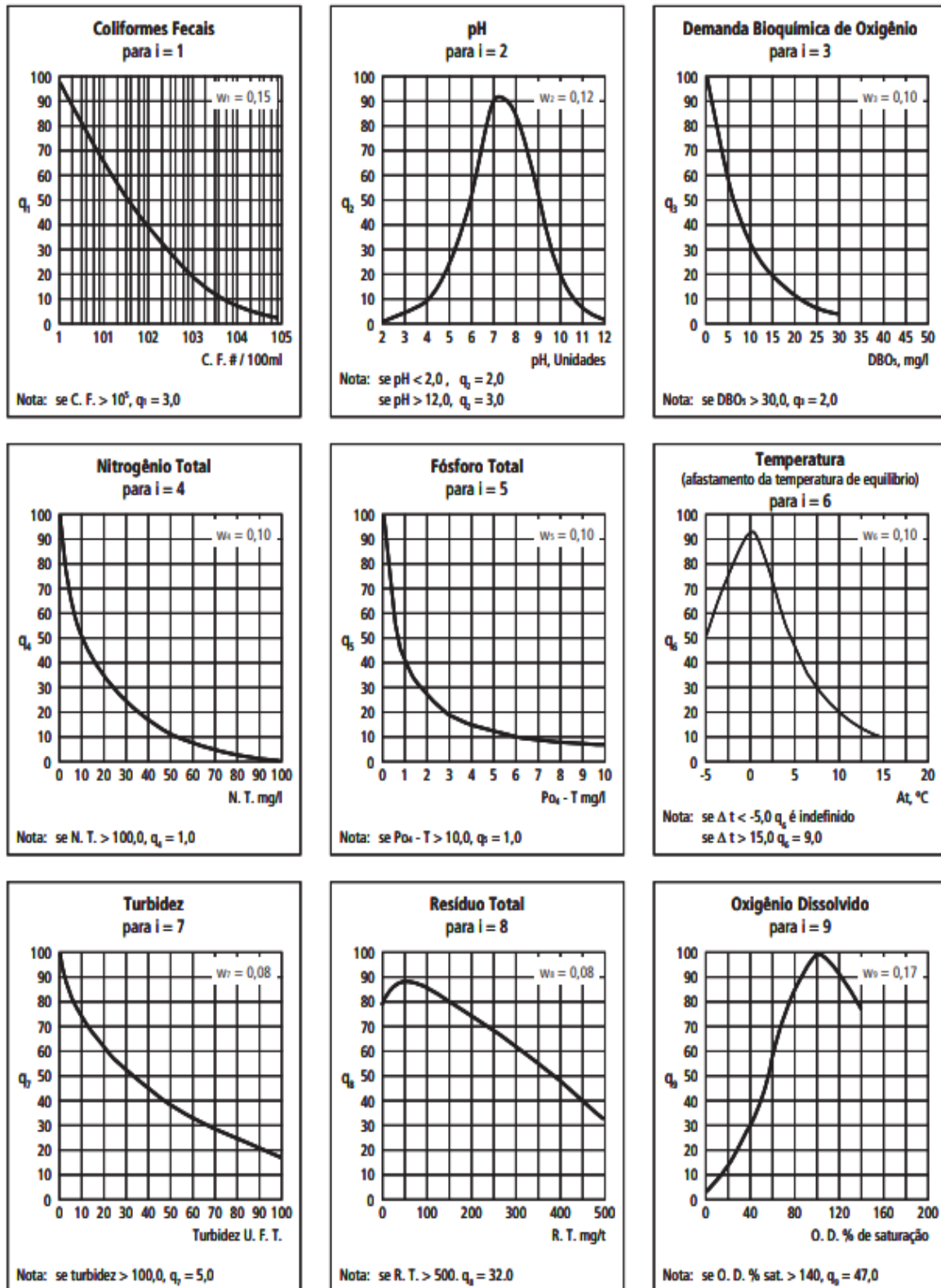
Onde:

IQA= Índice de Qualidade da água.

$q_i$  = Qualidade do parâmetro  $i$  obtido através da curva média específica de qualidade.

$w_i$  = Peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade (FIG. 3).

Figura 3 – Curvas médias específicas de parâmetros de qualidade da água.



Fonte: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO [CETESB], 2017.



De acordo com o valor obtido do IQA, a qualidade do rio pode ser classificada em excelente, boa, média, ruim e muito ruim, conforme a Tabela 3 (IGAM, 2017).

**Tabela 3- Classificação do índice de qualidade da água (IQA).**

| Valor do IQA        | Classe     |
|---------------------|------------|
| $90 < IQA \leq 100$ | Excelente  |
| $70 < IQA \leq 90$  | Boa        |
| $50 < IQA \leq 70$  | Média      |
| $25 < IQA \leq 50$  | Ruim       |
| $IQA \leq 25$       | Muito Ruim |

Fonte: IGAM, 2017. Adaptado.

Para o desenvolvimento do presente estudo foram avaliados como parâmetros de qualidade da água o Oxigênio dissolvido, *Escherichia coli*, pH, Temperatura, Turbidez e Condutividade, detalhados abaixo.

### **2.3.1 Oxigênio Dissolvido**

A presença de oxigênio dissolvido nas águas é de extrema importância para a manutenção do meio aquático, possibilitando a organização das cadeias alimentares aquáticas formadas por organismos produtores, consumidores e decompositores (BRAGA et al. 2005).

Esse parâmetro é essencial para a vida dos seres vivos, sendo que uma baixa quantidade de oxigênio dissolvido se caracteriza como o principal indicador de poluição orgânica das águas (SPERLING, 2014). “Um rio considerado limpo, em condições normais, apresenta normalmente, de 8,00 a 10,00 mg.L<sup>-1</sup> de oxigênio dissolvido” (FARIAS, 2006, p.15).

De acordo com a Resolução n°357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para rios de Classe II o valor mínimo deste parâmetro nas águas é de 5,00 mg. L<sup>-1</sup>.

### **2.3.2 Coliformes Totais e *Escherichia coli***

A água pode se tornar um veículo de transmissão de doenças ao apresentar organismos indicadores de contaminação fecal, e estes organismos pertencem em sua maioria ao grupo das bactérias denominadas de coliformes (SPERLING, 2014).

No entanto, como esse grupo de microrganismos apresenta uma grande variedade de espécies, podendo apresentar representantes que além de habitarem intestinos humanos e

animais podem encontrar-se naturalmente em solos e rios, a quantificação desse grupo não indica especificamente uma contaminação fecal naquele ponto em questão. Já a espécie *Escherichia coli*, pertencente ao grupo de coliformes termotolerantes, é considerada como microrganismo indicador ideal, pois indica com precisão que o local se encontra contaminado com fezes humanas ou animais (PECZAR; CHAN; KRIEG, 2010).

A Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, estabelece que para rios de Classe II o valor de *Escherichia coli* não deve ultrapassar de 10,00 NMP/ml.

### **2.3.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Segundo Orouji et al. (2013), o pH é um parâmetro comum de qualidade da água que indica as condições ácidas ou alcalinas do meio por meio da medição da presença de íons hidrogênio ( $H^+$ ).

As mudanças dos valores de pH, podem ocorrer devido a dissolução de rochas, fotossíntese, despejos domésticos e industriais. Para a conservação dos seres aquáticos, o ideal é que o pH se situe entre os valores próximos da neutralidade, ou seja, na faixa de 6,00 a 9,00 (GASPAROTTO, 2011).

Segundo a Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, os valores de pH para rios de Classe II devem se situar entre 6,00 e 9,00.

### **2.3.4 Temperatura**

Sua origem natural se dá pela transferência de calor por condução, convecção e radiação, enquanto que sua origem antropogênica pode ser proveniente de despejos industriais (SPERLING, 2014). O aumento da temperatura nas águas está intimamente ligado ao aumento de poluição da mesma, uma vez que o aumento de sólidos em suspensão aumenta a atividade dos organismos decompositores, que irão realizar suas atividades metabólicas e como consequência disso, ocorrerá a liberação de calor (BRAGA et al., 2005).

O aumento da temperatura pode ainda provocar uma série de alterações como as migrações populacionais de algumas espécies aquáticas, diminuição da solubilidade dos gases e aumento da taxa e cinética das reações químicas e biológicas (BRAGA et al., 2005).

Não existem valores máximos ou mínimos frente as legislações brasileiras a respeito deste parâmetro nos rios.

### **2.3.5 Turbidez**

A turbidez mede o grau de interferência da passagem da luz através da água. Podendo ter origem natural, a partir de partículas de rocha, argila e silte, ou antropogênica, a partir de despejos domésticos, industriais, erosões e microrganismos. Quando natural, não traz malefícios diretos, entretanto, podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos. Se provenientes da ação antropogênica, podem apresentar compostos químicos, como aqueles oriundos da utilização de pesticidas, que ao serem lançados em rios ou cursos de água, podem diminuir a incidência da luz solar, afetando os processos bioquímicos realizados na fotossíntese, o que irá diminuir a quantidade de oxigênio dissolvido na água (SPERLING, 2014).

A turbidez para rios de Classe II não deve ultrapassar um valor de 100,00 NTU (CONAMA, 2005).

### **2.3.6 Condutividade**

A condutividade é uma medida indireta de contaminação das águas, uma vez que expressa a capacidade do meio em conduzir corrente elétrica, a partir de íons de sais dissolvidos. Desta forma quanto maior a quantidade de sais dissolvidos, maior a quantidade de poluentes e maior a condutividade da água. Valores de turbidez muito altos podem indicar característica corrosiva (CETESB, 2017).

O valor máximo deste parâmetro para águas superficiais é de 100,00  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (CETESB, 2010).

## **3 Elementos Químicos Tóxicos**

No presente trabalho foram avaliados 19 elementos químicos que se consumidos em excesso podem ser altamente tóxicos aos organismos vivos, são eles: Alumínio, Arsênio, Bário, Berílio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cobalto, Cromo, Ferro, Fósforo, Lítio, Manganês, Mercúrio, Níquel, Prata, Selênio, Urânio e Vanádio. Destes 19 elementos, apenas o Mercúrio não teve seu índice detectado pelo equipamento para todos os anos analisados.

### **3.1.1 Alumínio (Al)**

O alumínio é um metal encontrado na atmosfera em rochas, solos e gases emitidos por atividades vulcânicas (CETESB, 2017). De forma artificial pode atingir a atmosfera através de atividades associadas à produção de vidros, ligas metálicas, plásticos e utensílios domésticos, mas a principal forma de contaminação do meio se dá a partir de resíduos de indústrias metalúrgicas e químicas (CETESB, 2017).

Este metal também é utilizado durante os processos de tratamento de água, principalmente como agente coagulante. Em águas tratadas sua concentração média é de 0,16mg/L, e a concentração máxima aceita pela Portaria n° 2914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde é de 0,2mg/L para água potável destinada a consumo humano direto (CETESB, 2017; BRASIL, 2011).

Com relação à toxicidade do alumínio existem estudos sobre sua influência na ocorrência do Mal de Alzheimer, mas não existe avaliação sobre o potencial cancerígeno do alumínio em humanos (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY [ATSDR], 2008).

Segundo CONAMA (2005) o valor máximo deste elemento para os rios de Classe II é 100,00 µg L<sup>-1</sup>.

### **3.1.2 Arsênio (As)**

É um elemento que por apresentar características intermediárias entre os metais e os não metais é classificado como um metaloide, apresenta-se de forma natural na atmosfera, solos e rochas, águas podendo ainda ser encontrado nos organismos. Suas principais formas de emissão para o meio ambiente são: atividades vulcânicas, industriais (indústrias de tintas e corantes), mineração e atividades agropecuárias (produção de agrotóxicos) (SILVA, 2016; GUIMARAES, 2000).

Os principais meios de contaminação pelo arsênio são as águas poluídas e os solos contaminados. Uma vez em contato com os organismos vivos pode causar uma série de problemas relacionados à saúde de acordo com o tempo de exposição dos mesmos. Dentre as patologias causadas por exposição crônica pode-se citar: câncer de pele, pulmão, próstata, bexiga, rim e fígado (DELAFFIORE; RING; FUREY, 2016).

Outras patologias causadas pela exposição ao arsênio são: conjuntivite, hiperqueratose, hiperpigmentação, doenças cardiovasculares, distúrbios do sistema nervoso central e vascular periférico e grangeria nos membros (KATZUNG, 2003).

De acordo com a International Agency for Research on Cancer (IARC, 2004) este elemento é cancerígeno á humanos.

### **3.1.3 Bário (Ba)**

De forma natural pode estar incrustado em minerais, solo ou rochas que através de processos erosivos e do intemperismo podem atingir os corpos de água em concentrações que variam de 0,0007 a 0,9µg L<sup>-1</sup>. De forma artificial pode ser introduzido ao meio através de resíduos da produção de pigmentos, produtos agrícolas, fogos de artifício e vidros (CETESB, 2017).

Segundo a ASTD (2007) os riscos à saúde estão associados aos compostos de bário que são solúveis em água ou estômago e entre as patologias causadas por estes compostos encontra-se a hipocalcemia, hipertensão ou hipotensão arterial, fraqueza muscular, doenças cardiovasculares e até mesmo paralisia. A ATSDR (2007) afirma que o bário e seus compostos não apresentam riscos de desenvolver câncer em humanos.

O valor máximo preconizado pelo CONAMA (2005) é de 700,00 µg L<sup>-1</sup> de bário para rios de Classe II.

### **3.1.4 Berílio (Be)**

Este metal é relativamente raro na crosta terrestre onde apresenta cerca de 0,0006% da composição total. Naturalmente é encontrado em rochas alcalinas e nos produtos residuais de magma granítico. De acordo com WHO (WORD HEALTH ORGANIZATION, 2001) as principais fontes antrópicas de berílio no meio são cinzas em aterros provenientes de incineradores municipais e como constituinte de fumos.

Entre os danos que este elemento pode causar nos organismos pode-se citar: dermatite de contato, hipersensibilização e irritação nas mucosas (WHO, 2001).

De acordo com a ATSDR (2002) este elemento é um cancerígeno humano, sobretudo câncer de pulmão.

### **3.1.5 Cádmio (Cd)**

Este metal pode ser encontrado na crosta terrestre em associação a alguns minérios, sobretudo os minérios de chumbo, cobre e zinco. Sua presença em cursos d'água está relacionado a processos de intemperismos e lixiviação das rochas e minerais ricos em cádmio,

seguidos por processos de transporte que carregam este material para os leitos dos rios. Pode ser introduzido ao meio como resíduo oriundo da fabricação de baterias, estabilizadores para plásticos, plaqueamentos, revestimentos, dispositivos fotovoltaicos, pigmentos, dentre outros (BROWMIK et al. 2015).

Os efeitos tóxicos causados pela exposição a este metal, ainda que em pequenas concentrações podem ser letais, os sintomas mais recorrentes são: edema pulmonar, pneumonia química, traqueobronquite e transtornos gastrointestinais (GUIMARÃES, 2000; RUPPENTHAL, 2013).

A ATSDR (2008) classifica este elemento como cancerígeno humano.

### **3.1.6 Chumbo (Pb)**

Encontrado naturalmente em pequenas quantidades na crosta terrestre, o chumbo é um metal de coloração cinza azulado que representa grande risco a saúde humana, segundo a International Agency for Research on Cancer (IARC), o chumbo inorgânico e seus compostos não são potencialmente cancerígenos ao homem (ATSDR, 2005; IARC, 2004).

Por possuir larga utilização industrial, sendo aplicado em processos industriais de fabricação de baterias, tubulações, metalurgia e tintas é um dos contaminantes ambientais mais comuns (MOREIRA et al., 2002)

Dentre os efeitos nocivos causados pela exposição ao chumbo encontram-se em crianças a atrofia do crescimento, problemas de comportamento e dificuldade de aprendizado; em adultos pode causar tonturas, irritabilidade, cefaleia, perda de memória e até mesmo câncer (NATIONAL SAFETY COUNCIL [NSC], 2004; CETESB, 2017).

O valor máximo desta substância para os rios de Classe II é de 10,00 µg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2005).

### **3.1.7 Cobre (Cu)**

Este elemento encontra-se distribuído de diversas formas na natureza. Na atmosfera encontra-se presente devido a processos vulcânicos e de dispersão pela ação do próprio vento (CETESB, 2016).

A presença de grandes quantidades deste elemento nos corpos de água está associada a atividades antrópicas como rejeito de indústrias minerárias, eletrotécnicas, metalúrgicas, ou ainda inseticidas (IGAM, 2017).

Segundo o IGAM (2017) o cobre é considerado um dos elementos mais tóxicos a saúde humana, peixe e microrganismos.

A ATSDR (2004) afirma que não se sabe ao certo se este elemento é um cancerígeno humano.

### **3.1.8 Cobalto (Co)**

A presença deste elemento nos corpos hídricos pode ocorrer de origem natural ou antrópica. De forma natural ocorre por processos de lixiviação e intemperismos de rochas ao serem transportados para os leitos dos rios. De forma antrópica o aumento da concentração deste elemento está associado a resíduos gerados pela produção de produtos químicos de cobalto, fertilizantes fosfatados e mineração (ATSDR, 2004).

Segundo a International Agency for Research on Cancer (IARC, 2004) o cobalto constitui um elemento cancerígeno para humanos. A ATSDR (2012) classifica o cobalto como 52ª substância tóxica que representa risco a saúde humana.

### **3.1.9 Cromo (Cr)**

O cromo é um metal que se encontra em quantidades consideráveis na crosta terrestre, e por ser um elemento químico de transição pode se apresentar em duas formas de valência positivas, III e IV. As duas principais formas de contaminação da população por este elemento são a ingestão de alimentos e água, e a inalação do ar (CETESB, 2017).

Encontra-se naturalmente associado a rochas ricas em cromita, mas pode ser inserido ao meio a partir de atividades antrópicas como fabricação de produtos químicos, siderurgia, pilhas, indústrias de cimento, aterros industriais, aterros sanitários, e como resíduo de fertilizantes nitrogenados e fosfatados (CETESB, 2017).

Como risco a saúde, a exposição a este elemento pode causar câncer de pulmão, alterações genéticas, irritação estomacal, úlcera, convulsões, danos ao rim e ao fígado e aparecimento de tumores em estômago (WORD HEALTH ORGANIZATION [WHO], 1999; ATSDR, 2001).

A quantidade máxima de cromo que deve estar presente em águas de rios de Classe II é de 50,00 µg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2005).

### **3.1.10 Ferro (Fe)**

Este metal é amplamente utilizado em procedimentos de tratamento de águas, principalmente no emprego de coagulantes. Entretanto, o excesso deste elemento nos corpos d'água confere uma série de fatores indesejáveis como cor, sabor e odor, podendo acarretar manchas em objetos sanitários e roupas. Outra implicação negativa do ferro é que em grandes concentrações pode propiciar o desenvolvimento de incrustações ferro-bactérias nas canalizações, contaminando a água com microrganismos indesejáveis (CETESB, 2017).

Entre as principais atividades que conferem o aumento das concentrações de ferro nas águas encontram-se atividades industriais e processos de mineração. O alto teor de ferro nos organismos humanos pode provocar disfunções hepáticas e hemocromatose (CETESB, 2017).

A ATSDR (2012) não classifica o ferro quanto sua carcinogenicidade em humanos.

O valor limite de ferro que deve estar presente em rios de Classe II é de 300,00 µg L-1.

### **3.1.11 Fósforo (P)**

Segundo Sperling (2014) a presença natural deste elemento nas águas encontra-se intimamente relacionada à decomposição da matéria orgânica e a dissolução de compostos do solo. Desta forma, os processos de degradação de matéria orgânica e intemperismo de rochas e solos seriam os principais responsáveis pela concentração natural deste elemento nos corpos hídricos.

Entretanto, algumas atividades antropogênicas têm contribuído para o aumento da concentração do mesmo, dentre os quais vale destacar os despejos industriais e domésticos, excrementos animais e fertilizantes (SPERLING, 2014). A CETESB (2017) afirma que as descargas oriundas dos esgotos sanitários são as principais responsáveis pelo aumento artificial da concentração do fósforo nas águas, sendo as principais fontes de contaminação a matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em grande escala domesticamente.

Ainda, segundo o Decreto Regulamentar nº06, de 05 de maio de 2001, da Secretaria Geral do Ministério da Saúde, o excesso deste elemento nos seres humanos pode causar necrose dos maxilares e outras manifestações clínicas (BRASIL, 2001).

A ATSDR (2012) não classifica o fósforo quanto sua carcinogenicidade em humanos.



O CONAMA (2005), estabelece que o valor máximo deste elemento em rios de Classe II é de 20,00 µg L<sup>-1</sup>.

### **3.1.12 Lítio (Li)**

A presença natural deste elemento em meio aquático acontece, sobretudo a partir do intemperismo de solos e rochas, que ao serem transportados para os rios acabam contaminando-o. Entretanto o aumento das concentrações do mesmo pode ser ocasionado a partir do descarte incorreto de resíduos provenientes da fabricação de baterias, materiais fotográficos e indústria espacial (LIU; GOYER; WAALKES, 2012; ARAL; VECCHIO, 2008).

A ATSDR enquadra o lítio como sendo a 334ª substância com potencial de risco à saúde humana, devido a sua toxicidade, porém não apresenta risco de câncer em humanos (ATSDR, 2012). Se ingerido em grandes concentrações e em longo prazo pode causar ganho de peso, diarreia, tremores e danos renais (ATSDR, 2012; BROBERG et al., 2011).

O valor máximo de lítio em rios de Classe II é de 2500,00 µg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2005).

### **3.1.13 Manganês (Mn)**

O manganês ocorre naturalmente em águas superficiais e subterrâneas, mas o aumento da sua concentração nos corpos d'água pode estar associado a resíduos gerados pela fabricação de baterias, vidros, aço, ligas metálicas, fertilizantes, vernizes, entre outros. Em concentrações superiores, confere coloração negra na água e desenvolve depósitos de óxidos em canalizações de sistemas de tratamento de água (CETESB, 2017).

Este metal é abundante na natureza e é extremamente importante para o desenvolvimento de plantas e animais superiores, entretanto, se ingerido em excesso pode afetar o sistema nervoso, contribuindo para o desenvolvimento de uma doença conhecida como Mal de Parkinson (RUPPENTHAL, 2013; GUIMARÃES, 2000).

A ATSDR (2012) afirma que as informações científicas a respeito do manganês não são conclusivas a respeito da sua carcinogenicidade.

O valor limite de manganês presente em águas de rios de Classe II é de 100,00 µg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2005).

### **3.1.14 Níquel (Ni)**

Presente no interior da Terra, este metal também está presente em diversos minerais e até mesmo em meteoritos que atingem nosso planeta. Entre as principais atividades antrópicas que conferem o aumento deste elemento no meio, pode-se citar: mineração, modelagem de ligas, fabricação de refrigerantes e sorvetes aromatizados, indústrias de eletrodeposição e etc (CETESB, 2016; RUPPENTHAL, 2013).

Dentre os efeitos tóxicos causados aos organismos encontram-se: dermatites, alergias, irritação gástrica (CETESB, 2017)

Alguns estudos apontam o níquel como sendo um elemento responsável por efeitos cancerígenos. A OMS estabelece um valor máximo de 0,07 mg/L de níquel para o consumo humano em águas potáveis (CETESB, 2017).

IARC (2004) determina que alguns compostos de níquel são cancerígenos á humanos.

### **3.1.15 Prata (Ag)**

Este metal encontra-se naturalmente no meio ambiente em rochas e solos, e como minério encontra-se normalmente associado ao cobre e ao ouro. Como indicativo de poluição das águas, as concentrações exacerbadas se devem ao lançamento de resíduos provenientes da fabricação de baterias, catalisadores de reações químicas, joias, condutores, espelhos, interruptores e placas fotográficas (NORDBERG et.al., 2007).

A prata é classificada como 217ª substância com potencial risco à saúde humana (ATSDR, 2012), entretanto, não é classificável quanto sua carcinogenicidade humana. Entre os principais danos causados pelo excesso deste elemento nos organismos encontram-se as alergias, descoloração da pele, danos patológicos nos rins e fígados e até mesmo a morte (WHO, 2003).

A Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, estabelece um valor máximo de 10,00 µg L-1 de prata para rios de Classe II.

### **3.1.16 Selênio (Se)**

Este elemento não-metálico é extremamente raro representando cerca de 0,09% da composição total da crosta terrestre. Sua presença nos corpos hídricos pode ocorrer de forma natural ou artificial. Como contaminação dos leitos de água encontra-se diretamente relacionado a processos industriais de lançamentos de resíduos nos rios. Dentre as principais

atividades antrópicas lançadoras de selênio no meio ambiente encontram-se os processos industriais de fabricação do vidro, esmaltes para cerâmicas, derivados do aço, fabricação de borrachas e painéis solares (ATSDR, 2012).

A deficiência deste elemento nos organismos vivos pode causar uma série de fatores como sensibilidade muscular, mialgia e degeneração pancreática. Entretanto, em grandes concentrações, este elemento pode ser prejudicial à saúde e até mesmo ser letal. A inalação dos vapores contendo este elemento pode causar irritação dos olhos, nariz e garganta (VITAMINAS & SAIS MINERAIS, 2005; RIBEIRO, 2002).

A ATSDR (2003) afirma que o selênio e seus compostos não são classificáveis quanto a sua carcinogenicidade humana. De acordo com a ATSD (2003) a ingestão de grandes quantidades dessa substância pode causar uma doença conhecida como selenose.

O CONAMA (2005) estabelece que o valor limite desta substância para rios de Classe II é de 10,00 µg L<sup>-1</sup>.

### **3.1.17 Urânio (U)**

O Urânio é um elemento de ocorrência natural sendo encontrado no ar, nos solos, nas rochas e nas águas superficiais (ROESER et al., 2012). Como principais formas de contaminação do meio encontram-se em resíduos gerados por indústrias de energia elétrica, combustível para reatores nucleares e materiais radioativos para medicina e agricultura (OLIVEIRA et al. 2016).

Esta substância constitui um dos elementos tóxicos mais pesados que pode ser encontrado na natureza, sendo um emissor de partículas alfas podendo gerar riscos radiobiológicos e químicos à saúde desencadeando uma série de doenças degenerativas e graves incapacitantes (GUEVARA, 2012; VIEHBERG et al., 2012).

A IARC (2004) não classifica este elemento em relação a sua carcinogenicidade.

### **3.1.18 Vanádio (V)**

O vanádio é um elemento químico metálico que se encontra presente em 0,01% da crosta terrestre. Nas águas suas concentrações estão relacionadas a processos de transportes de sedimentos de rochas e de solos ricos neste elemento, e de forma artificial, a introdução do mesmo nos corpos de água acontece a partir de lançamentos de efluentes de indústrias de pigmentos de tintas, cerâmicas e produção de plástico (NORDBERG et al., 2007).

Com relação à toxicidade do vanádio, a ingestão do mesmo em grandes concentrações pode causar diarreias leves e dores estomacais, porém não existem estudos que apontem o potencial cancerígeno do vanádio e seus compostos (ATSDR, 2012).

O valor limite desta substância em águas de rios de Classe II é de 100,00 µg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2005).

### 3.2 Índice de Estado Trófico – IET

O Índice de Estado Trófico (IET) tem como objetivo avaliar a qualidade da água de acordo com seu enriquecimento por nutrientes, que proporciona crescimento excessivo de alguns microrganismos chamados de fitoplâncton (IGAM, 2017). Para isto é analisado o parâmetro fósforo total. Com base na presença deste elemento é desenvolvido um cálculo no qual para rios a formula utilizada é (LAMPARELLI, 2004):

$$ET = 10.(6-((0,42-0,36.(ln.PT)/ln2)) \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

PT= Fósforo total (µg/L)

De acordo com este índice os rios podem ser classificados em: ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutotróficos, supereutrófico e hipereutrófico, conforme a Tabela 4 abaixo.

**Tabela 4- Classes do índice de estado trófico (rios) e seu significado.**

| <b>Valor IET</b>   | <b>Classes</b>    | <b>Significado</b>                                                                                                                                                                    |
|--------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $IET \leq 47$      | Ultraoligotrófica | Corpos de Água com produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes.                                                                                           |
| $47 < IET \leq 52$ | Oligotrófica      | Corpos de água de baixa produtividade, onde a presença de nutrientes não interfere no uso da água.                                                                                    |
| $52 < IET \leq 59$ | Mesotrófica       | Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água.                                                                                   |
| $59 < IET \leq 63$ | Eutrófico         | Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais e interferências nos seus múltiplos usos.                                                                       |
| $63 < IET \leq 67$ | Supereutrófico    | Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos. |
| $IET > 67$         | Hipereutrófico    | Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes.                                                                              |

Fonte: IGAM, 2017; LAMPARELLI, 2004. Adaptado.

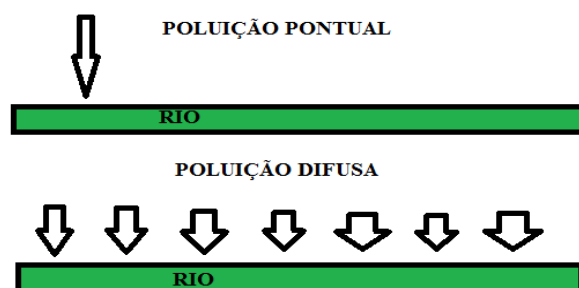
### 3.3 Fontes de Poluição das Águas

Segundo Sperling (2014) uma água que se encontra na forma poluída, é uma água que apresenta alterações de suas propriedades de maneira que seus legítimos usos fiquem comprometidos.

Desta forma, as fontes de poluição podem atingir um corpo d'água basicamente de duas maneiras: de forma pontual ou difusa. Nas fontes de poluição pontuais os poluentes

atingem o meio de forma concentrada, como na saída de uma tubulação (LARENTIS, 2004). Nas fontes de poluição difusas, os poluentes atingem o meio de forma distribuída ao longo de parte de sua extensão, como por exemplo, poluição oriunda por meio de escoamento superficial (SPERLING, 2014). A Figura 4 ilustra as diferenças básicas entre as duas formas de poluição citadas anteriormente.

**Figura 4 – Poluição pontual e poluição difusa**



Fonte: SPERLING, 2014. Adaptado.

As principais fontes de poluição pontuais são os esgotos domésticos e industriais. Já as principais fontes de poluição difusas são causadas basicamente pelos eventos meteorológicos que carregam as cargas providas do uso e ocupação da bacia e das atividades ligadas à pecuária (LARENTIS, 2004).

### 3.4 Cargas Poluidoras

Para uma melhor avaliação sobre o potencial poluidor de uma determinada região é necessário que se quantifique as cargas poluidoras totais em virtude dos usos e ocupações do solo, específicos de cada localidade, e assim como a quantificação do número de habitantes e os principais rebanhos criados pela pecuária local.

Essa quantificação de poluentes normalmente é expressa por meio de cargas, que podem ser calculadas por quatro formas distintas mostrada nas Equações 3, 4, 5 e 6 (SPERLING, 2014).

$$C_a = C_o \cdot Q \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$C_a$  = Carga

Co= Concentração

Q= Vazão

$$Ca = CPC \cdot Hab \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

Ca= Carga

CPC= Contribuição per capta

Hab= Número de habitantes

$$Ca = CP \cdot R \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Ca= Carga

CP= Contribuição por cabeça

R= Número de cabeças do rebanho

$$Ca = CUA \cdot A \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

Ca= Carga

CUA= Contribuição por unidade de área

A= Área

### 3.5 Esgotos Sanitários

Existem basicamente dois tipos de sistemas de esgotamento sanitários, que são o sistema individual ou sistema coletivo. O sistema individual é pouco utilizado para grandes áreas como, por exemplo, áreas urbanas, sendo que seu princípio é o lançamento de resíduos envolvendo a infiltração no solo. Nesse caso o nível de água subterrânea deve se encontrar em profundidades adequadas para se evitar o risco de contaminação da mesma. Esse sistema é pouco usual e mais adotado para atendimento unifamiliar (SPERLING, 2014).

Os sistemas coletivos são os mais utilizados e consistem em tubulações que recebem os lançamentos dos esgotos e transferem para seu destino. Estes por sua vez podem ser de forma unitária ou combinada, ou por um sistema separador. O Brasil e a maioria dos países adotam o sistema separador onde os lançamentos de águas pluviais e de esgoto são conduzidos em tubulações separadas. Desta forma segundo Sperling (2014) as tubulações de

águas pluviais não contribuem com as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), e somente as tubulações providas dos esgotos domésticos e industriais é que terão seu destino para a ETE.

### **3.6 Órgãos e meios eletrônicos para obtenção de dados de qualidade da água**

Dentre os meios eletrônicos existentes para obtenção de dados referentes aos corpos hídricos destacam-se o InfoHidro, o Atlas Digital das Águas de Minas, a HidroWeb e o IBGE.

O portal InfoHidro é um importante instrumento para a gestão do conhecimento, visto que através do mesmo é possível ter acesso a uma gama de informações relacionadas aos recursos hídricos de forma organizada e sistemática. Essas informações estão disponibilizadas no Portal InfoHidro, fornecidos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, acesso em 4 fev. 2018).

O Atlas Digital das Águas de Minas fornece uma série de mapas, onde se é possível obter informações pertinentes as regiões hidrográficas selecionadas. Dados como vazão específica, demanda e disponibilidade dos recursos hídricos, balanço hídrico, comportamento hidrológico, dentre outros, podem ser acessados (Atlas Digital das Águas de Minas, acesso em 13 jan. 2018).

A HidroWeb é um mecanismo eletrônico de obtenção de dados, relativos aos corpos hídricos, que foi desenvolvido pela Agência Nacional de Saúde (ANA). Nele constam diversos dados fluviométricos como qualidade da água, dados de vazão, profundidade e escoamento superficial das águas. Bem como dados pluviométricos relativos às precipitações médias e diárias de cada localidade (ANA, acesso em 13 jan. 2018).

O IBGE fornece uma série de dados geográficos e estatísticos a respeito das diversas localidades do Brasil, onde é possível obter uma série de mapas e informações das características sociais e econômicas (IBGE, acesso em 13 jan. 2018).

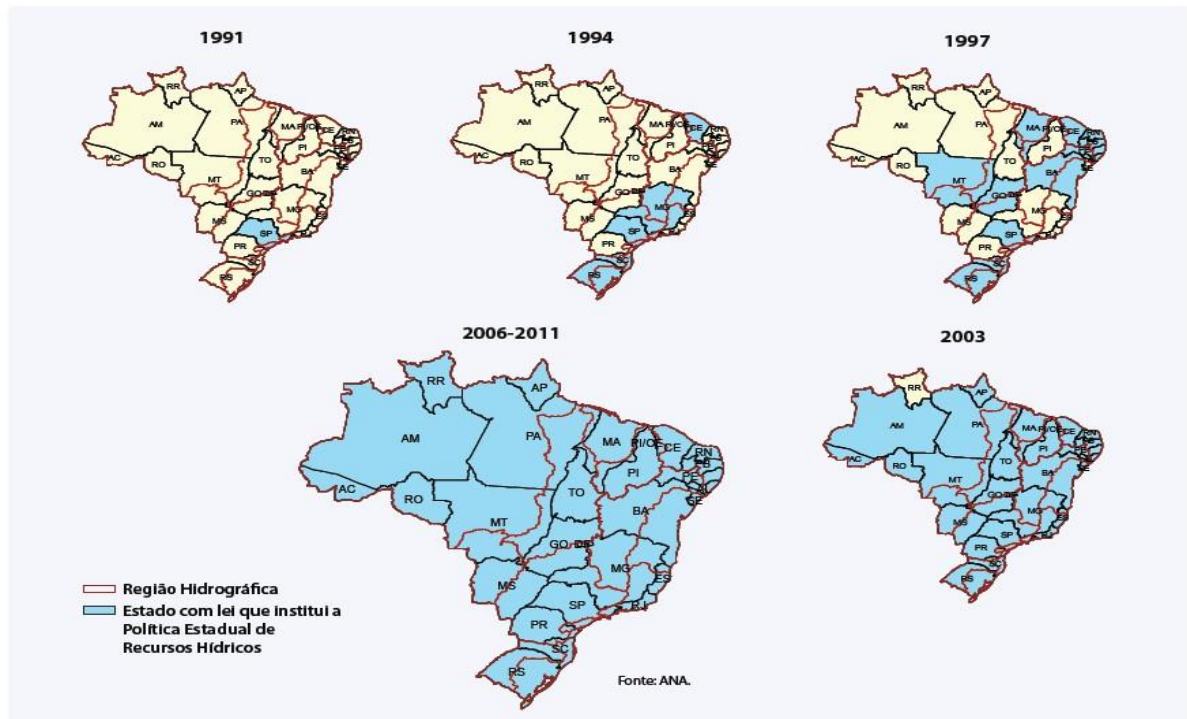
### **3.7 Principais leis aplicadas aos recursos hídricos no Brasil**

A história da legislação ambiental brasileira voltada para aos recursos hídricos teve início nos anos 90 (FIG. 5), com a criação da primeira lei estadual de recursos hídricos, a lei 6663/91. Essa lei foi criada com o intuito de se resolver conflitos hídricos para o estado de São Paulo. Após seis anos foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos, porém, até os dias atuais este último ainda



encontra uma grande dificuldade de ser implementado em algumas regiões brasileiras (MELO et al., 2013).

**Figura 5 – Avanço da instituição das políticas estaduais de recursos hídricos.**



Fonte: TSCHIEDEL, 2013.

Nos tempos atuais destaca-se a Resolução n°357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece condições a se manter nos corpos d'águas, assim como determina a classificação dos mesmos segundo características específicas e finalidades de uso (FIG. 6).

**Figura 6 – Classificação dos rios segundo sua finalidade de uso.**

| Classes         | Usos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classe Especial | a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção;<br>b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;<br>c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;                                                                                                                                                                                 |
| Classe I        | a) abastecimento doméstico após tratamento simplificado;<br>b) proteção das comunidades aquáticas;<br>c) recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);<br>d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.<br>e) proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas; |
| Classe II       | a) abastecimento doméstico, após tratamento convencional<br>b) proteção das comunidades aquáticas<br>c) recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho)<br>d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto<br>e) aquicultura e atividade de pesca.                         |
| Classe III      | a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado<br>b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras<br>c) pesca amadora<br>d) recreação de contato secundário<br>e) dessedentação de animais.                                                                                                                                                            |
| Classe IV       | a) Navegação<br>b) Harmonia Paisagística                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Fonte: CONAMA, 2005.

Outra normativa é especificada pela Deliberação Normativa Conjunta do CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL [COPAM]/CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS [CERH-MG] nº 01, de 05 de maio de 2008, que estabelece limites para os índices de qualidade de água de acordo com a classe do rio (TAB. 5).

**Tabela 5 – Limites de classificação de interesse (COPAM/CERH-MG) dos diferentes parâmetros de qualidade da água.**

| PARÂMETROS                  | UNIDADES  | Limites de Classificação |           |
|-----------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
|                             |           | C1                       | C2        |
| Cloretos                    | mg/l      | 250                      | 250       |
| Condutividade Elétrica      | µS/cm     | NR                       | NR        |
| D.B.O.                      | mg/l      | 3                        | 5         |
| Fósforo Total               | mg/l      | 0,1                      | 0,1       |
| Ortofosfato                 | mg/l      | NR                       | NR        |
| Nitrato                     | mg/l      | 10                       | 10        |
| Nitrito                     | mg/l      | 1                        | 1         |
| Nitrogênio Amoniacal        |           | 0,5 a 3,7                | 0,5 a 3,7 |
| Nitrogênio Total            | mg/l      | NR                       | NR        |
| Oxigênio Dissolvido         | mg/l      | > 6,0                    | > 5,0     |
| pH                          | -         | 6,0 a 9,0                | 6,0 a 9,0 |
| Sólidos Dissolvidos Totais  | mg/l      | 500                      | 500       |
| Turbidez                    | N.T.U.    | < 40                     | < 100     |
| Coliformes Termotolerantes  | NMP/100ml | 200                      | 1000      |
| Densidade de Cianobactérias | cel/L     | 20000                    | 50000     |

Fonte: COPAM/CERH, 2008.

A Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), também trata dos mesmos limites abordados pela COPAM/CERH (2008) representados na Tabela 5.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Coletas

Foram coletadas amostras do rio Todos os Santos, na cidade de Teófilo Otoni – MG (17° 52' (S), 41° 18' (W) e 272,5 metros de altitude em três anos (2012, 2015 e 2018), mantendo o intervalo de três anos entre uma coleta e outra, compreendendo os meses de abril a junho, classificados climatologicamente como períodos de transição pelo IGAM (2017). A escolha destes meses partiu-se da necessidade de se conhecer os valores dos parâmetros escolhidos e analisados, visto que o IGAM para os períodos de transição não realiza todas as análises que são feitas nos períodos de seca e de chuva. A coleta das amostras foi realizada conforme procedimento adotado pela CETESB (2010). Para isso, foram utilizados frascos de polipropileno de 50mL e 15mL, com tampa (Falcon), tipo Metal Free (Livre de metais).

### 4.2 Análises Químicas e Físico-Químicas

Para as amostras de água coletadas foram determinadas as concentrações de 19 elementos químicos e analisados os parâmetros físico-químicos: pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água, turbidez e condutividade. Para a determinação dos elementos Alumínio, Arsênio, Bário, Berílio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cobalto, Cromo, Ferro, Fósforo, Lítio, Manganês, Mercúrio, Níquel, Prata, Selênio, Urânio e Vanádio, foi utilizado o método analítico proposto por Lawrence e colaboradores (LAWRENCE et al., 2006). Para isso, foi usado um Espectrômetro de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) modelo NEXTON 300D, PerkinElmer, instalado no Laboratório multiusuário do ICET (Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia), em uma Sala Limpa - Classe 1000.

Água deionizada de alta pureza (resistividade 18,2 m.Ω.cm-1) obtida pelo sistema Milli-Q (Millipore®) foi utilizada em todo o trabalho para preparo dos padrões de calibração para quantificação das amostras. Foi utilizado também ácido nítrico de alta pureza, após destilação em temperatura inferior à de ebulição, empregando-se destilador de quartzo da Kürner Analysentechnik, para eliminação de alguma possível impureza.

A determinação dos parâmetros físico-químicos foi realizada no Laboratório de Análise de Contaminantes do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (ICET-UFVJM). Para a determinação do potencial hidrogeniônico (pH), da turbidez, do oxigênio dissolvido (OD) e da condutividade

elétrica das amostras coletadas, foram utilizados os seguintes equipamentos: potenciômetro pHmetro DM-22 - Digimed, turbidímetro, modelo HI 98703 – Hanna Instruments, oxímetro, modelo DM-4P – Digimed e condutivímetro, modelo CD-4303 –Lutron, respectivamente conforme a metodologia adotada por Macedo (2003).

### 4.3 Análise Microbiológica

Para as análises do parâmetro microbiológico foi utilizada a técnica dos tubos múltiplos para determinação de coliformes totais e *Escherichia coli* conforme estabelecido pelo Manual Prático de Análise de Água da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2013).

Para determinação dos coliformes totais e *Escherichia coli* foram diluídos um mL de cada amostra de água coletada em solução salina (0,85% de NaCl), totalizando seis diluições decimais. Para cada diluição foi retirado um mL da solução e inoculando no meio de cultura caldo Lauril Triptose Sulfato (LST) contido em tubos de ensaio com tubo de Duhran invertido em seu interior, totalizando três repetições para cada diluição. Os tubos foram incubados em estufa bacteriológica a 35° C por 48 horas. Após incubação, aqueles tubos que apresentaram resultado positivo, ou seja, turvação do meio de cultura e formação de gás dentro do tubo de Duhran foram inoculados em caldo Verde Brilhante (VB) e caldo *Escherichia coli* (EC), para confirmação de coliformes totais e *Escherichia coli*, respectivamente. Para tanto, foi retirado uma alíquota de cada tubo considerado positivo com o auxílio de uma alça de platina e alçado em tubos contendo os meios de cultura acima citados sendo os mesmos incubados a 35° C e 45° C por 48 horas, respectivamente.

Os resultados foram expressos em Número Mais Provável por mL (NMP/mL) e calculados com auxílio da tabela do NMP fornecida pelo Manual Prático de Análise de Água (BLODGERT, 2003).

### 4.4 Análise Estatística

Para avaliação estatística dos dados das coletas, foi utilizada o programa Sistema para Análises Estatísticas versão 2.0, desenvolvido pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), onde o método estatístico utilizado foi um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com a aplicação de uma Análise de Variância (ANOVA) seguido do teste de Tukey todos a 5% de significância.

#### 4.5 Análise de Risco

Para a Análise de Risco, o presente trabalho seguiu a metodologia proposta por Giri e Singh (2015) que é uma modificação do método desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Esta avaliação teve como objetivo estimar os efeitos adversos à saúde humana, quando somos expostos a elementos químicos presentes em um meio ambiente contaminado (USEPA, acesso em 5 jan. 2018).

Para isto obteve-se inicialmente a Dose Média Diária (ADD) representada pela Equação 7, em seguida calculou-se o Quociente de Risco (HQ) expresso na Equação 8 e o Índice de Risco (HI) obtido pela Equação 9 para todos os elementos químicos determinados nas amostras de água no presente trabalho. No caso de elementos com potencial cancerígeno calculou-se a ADD para 70 anos de vida, e em seguida o Risco de Câncer. As fórmulas estão exemplificadas a seguir:

$$ADD = (Cw \cdot IR \cdot EF \cdot ED) / (Bw \cdot AT) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

ADD= dose média diária ( $\mu\text{g/Kg.dia}$ )

Cw= concentração média do metal ( $\mu\text{g/L}$ )

IR= taxa de ingestão (L/dia)

EF= frequência de exposição (dias/ano)

ED= duração de exposição (anos)

Bw= peso corporal (kg)

AT= tempo médio (dias)

Nesse trabalho utilizou-se a taxa de ingestão diária (IR) de 2L/dia para adultos e 1L/dia para crianças, com frequência de exposição (EF) de 365 dias. Na duração de exposição (ED) utilizou-se 6 anos para crianças e 30 anos para adultos. Para o peso corporal (Bw) o valor adotado foi de 15kg para crianças e 68kg para adultos. Já para o tempo médio (AT) foram considerados valores diferentes entre os elementos não cancerígenos e cancerígenos, em que para os não cancerígenos, este valor foi obtido pela multiplicação do ED por 365 dias e para os elementos cancerígenos foi obtido pela multiplicação de 70 anos de vida por 365 dias (GIRI; SING,2015).

$$HQ = ADD/ RfD \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

HQ= quociente de risco

ADD= dose média diária ( $\mu\text{g/Kg.dia}$ )

RfD= dose de referência diária ( $\mu\text{g/Kg.dia}$ )

Na Equação 8 o valor do quociente de risco (HQ) foi calculado individualmente para todas as substâncias. A dose de referência diária (RfD) foi obtida por meio de tabelas disponibilizadas pela USEPA (acesso em 5 jan. 2018). Quando HQ excede o valor de 1, pode haver preocupação de efeitos não cancerígenos à saúde.

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

HI= índice de risco

HQ<sub>i</sub>= cociente de risco individual

Na Equação 9 o índice de risco é, portanto, o somatório de todos os cocientes de riscos individuais (HQ<sub>i</sub> analisados). Se HI > 1 existe uma probabilidade maior para ocorrência de efeitos adversos à saúde humana.

$$\text{Risco de Câncer} = \text{ADD} \cdot \text{Sf} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

ADD= dose média diária ( $\mu\text{g/Kg.dia}$ )

Sf= fator de inclinação ( $\mu\text{g}^{-1} \text{kg.dia}$ )

A equação 10 é utilizada apenas para os elementos cancerígenos de forma individual, onde o fator de inclinação (Sf) é disponibilizado pela USEPA (acesso em 5 jan. 2018). Quando o Risco de câncer está entre  $10^{-6}$  e  $10^{-4}$ , considera-se que este apresenta riscos carcinogênicos aceitáveis ou toleráveis.

#### 4.6 Análise do IQA e IET

Para o cálculo do IQA foi utilizada a calculadora de IQA disponibilizada pelo site do IGAM (acesso em 4 fev. 2018) que faz o uso da Equação 1 descrita no índice 2.5 deste trabalho. Já para o cálculo do IET foi utilizada a Equações 2 conforme descrita no índice 3.2.

Foram obtidos os dados de IQA e IET para os dados coletados obtidos pelo nosso grupo nos anos de 2012, 2015 e 2018 e para os dados fornecidos pelo IGAM para o mesmo ponto de coleta e período analisado. Estes dados foram então organizados em tabelas para uma melhor visualização e comparação dos mesmos entre si e com os limites impostos pelo IGAM. Os parâmetros utilizados para os cálculos de IQA foram: oxigênio dissolvido (OD), *Escherichia coli* (EC), turbidez, temperatura e pH. Já para o cálculo do IET foi utilizado apenas às concentrações de fósforo.

#### 4.7 Análise da Tendência Comportamental do IQA ao longo dos anos

Para a análise da Tendência Comportamental do IQA ao longo dos anos, foram utilizados apenas os dados fornecidos pelo IGAM do ano de 1997 a 2017, para o mesmo ponto onde se efetuou as coletas deste trabalho e para o mesmo período de transição (abril a junho). Os parâmetros utilizados para os cálculos de IQA foram os mesmos citados acima, isto é, oxigênio dissolvido, *Escherichia coli*, turbidez, temperatura e pH.

Neste caso os dados foram lançados em um gráfico, onde gerou-se uma curva de Tempo versus Concentração e uma equação que melhor descreveu o comportamento deste parâmetro ao longo dos anos, com a possibilidade de uma estimativa deste parâmetro para tempos futuros. Para isto utilizou-se o software de uso comercial Excel 2010.

#### 4.8 Análise de Cenários Futuros para os Parâmetros de Qualidade da Água

A análise de Cenários Futuros consiste em uma quantificação das cargas geradas pelas principais fontes poluidoras, através da estimativa do aumento ou expansão de uma determinada fonte em questão. Para esta análise optou-se por utilizar uma modificação da metodologia proposta por Tschiedel (2013). O parâmetro escolhido para esta análise foi o de quantificação de *Escherichia coli*.

Segundo Silva et al. (2006) as principais fontes poluidoras para a Bacia do Rio Todos os santos são a agricultura, a pecuária e o esgoto doméstico. O fator industrial é muito pequeno e não foi levado em questão nos cálculos utilizados. Desta forma, o cálculo de aporte total de cargas poluentes pode ser expresso pela Equação 11.

$$P = P_{PEC} + P_{USO} + P_{HAB} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:



$P$  = carga total do parâmetro analisado

$P_{PEC}$  = carga gerada pela pecuária

$P_{USO}$  = carga gerada pelo uso e ocupação do solo

$P_{HAB}$  = carga total gerada pela população

Ainda segundo Silva et al (2006) as principais criações de rebanho na região são as de bovinos, suínos e aves. Desta forma a carga total gerada pela pecuária foi obtida pela Equação 12.

$$P_{PEC} = P_B + P_S + P_A \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

$P_B$  = carga gerada por bois

$P_S$  = carga gerada por porcos

$P_A$  = carga gerada por aves

A fórmula utilizada para se obter as cargas individuais tanto para bois quanto para porcos ou aves está exemplificada pela Equação 13.

$$P_{PEC\ i} = N_{CAB\ i} \cdot Ca_i \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

$P_{PEC\ i}$  = carga individual do rebanho analisado

$N_{CAB\ i}$  = número de cabeças do rebanho analisado

$Ca_i$  = carga de poluentes por cabeça de rebanho

Os  $Ca_i$  utilizados para este cálculo estão representados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Cargas por tipo de rebanho**

| <b>Rebanho</b> | <b>Cai EC (NMPx10<sup>6</sup>/ cabeça.dia)</b> |
|----------------|------------------------------------------------|
| Bovino         | 5400,00                                        |
| Suíno          | 8900,00                                        |
| Aves           | 240,00                                         |

Fonte: SANTOS, 2002.

De acordo com o IBGE (1995), para o uso e ocupação dos solos, os territórios brasileiros são divididos em agricultura, mata, pastagem e áreas urbanas. Desta forma, o cálculo para uso e ocupação do solo consistiu na Equação 14.

$$P_{USO} = P_A + P_M + P_P + P_U \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

$P_A$  = carga gerada pelas áreas de agricultura

$P_M$  = carga gerada pelas áreas de matas

$P_P$  = carga gerada pelas áreas de pastagens

$P_U$  = carga gerada pelas áreas urbanas

A fórmula utilizada para se obter as cargas individuais geradas para cada área de uso e ocupação do solo está exemplificada pela Equação 15.

$$P_{USOi} = A_i \cdot C_{Ai\ USO} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

$P_{USOi}$  = carga individual do uso específico

$A_i$  = área do uso em questão

$C_{Ai\ USO}$  = carga individual em hectare por uso relacionado

$C_{Ai\ USO}$  são mostradas na Tabela 7.

**Tabela 7 – Cargas de poluentes de acordo com o uso do solo**

| <b>Uso do Solo</b> | <b>Cai uso EC (NMP/ha.dia)</b> |
|--------------------|--------------------------------|
| Agricultura        | $10^3$                         |
| Mata               | $10^1$                         |
| Pastagem           | $10^5$                         |
| Urbano             | $10^7$                         |

Fonte: LARENTIS, 2004.

A carga gerada pelo esgoto doméstico está representada na Equação 16.

$$P_{HAB} = N_{HAB} \cdot C_{AHAB} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

$N_{HAB}$  = número de habitantes

$C_{AHAB}$  = carga gerada por habitante ao dia, sendo de  $10^9$  NMP/hab.dia (TSCHIEDEL, 2013)

Para as estimativas de cargas futuras para a população utilizou-se a Equação 17.

$$P_{AA} = P_{ANT} + K_A X (AA - ANT) \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

$P_{AA}$  = população do ano analisado

$P_{ANT}$  = população do ano anterior

$K_A$  = taxa de crescimento populacional anual

$AA$  = ano analisado

$ANT$  = ano anterior.

O  $K_A$  foi obtido a partir da seguinte Equação 18.

$$K_A = (P_{UC} - P_{PC}) / (A_{UC} - A_{PC}) \quad (\text{Equação 18})$$

Onde

$P_{UC}$  = população do último censo

$P_{PC}$  = população do penúltimo censo

$A_{UC}$  = ano do último censo

$A_{PC}$  = ano do censo anterior.

Os valores utilizados para obtenção da taxa de crescimento populacional estão expressos na Tabela 8 abaixo.

**Tabela 8 – Dados populacionais do censo IBGE**

| <b>Ano</b> | <b>População Habitantes</b> |
|------------|-----------------------------|
| 2010       | 134745                      |
| 2017       | 141934                      |

Fonte: IBGE, 2010.

Neste trabalho considerou-se o ano de 2010 como sendo o penúltimo censo e 2017 como o ano do último censo.

Para a estimativa de cargas futuras para a pecuária e uso e ocupação do solo utilizou-se as mesmas Equações 17 e 18, entretanto, onde lê-se população, entende-se rebanho no caso da pecuária, e área no caso de uso e ocupação do solo. Os números dos censos realizados que disponibilizam esses dados são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

**Tabela 9- Número de animais em Teófilo Otoni**

| <b>Ano</b> | <b>Bovinos</b> | <b>Suínos</b> | <b>Aves</b> |
|------------|----------------|---------------|-------------|
| 1995       | 107055         | 12604         | 155000      |
| 2006       | 106326         | 15916         | 268386      |

Fonte: IBGE, 1995.

**Tabela 10- Área em hectare de uso e ocupação do solo em Teófilo Otoni**

| <b>Ano</b> | <b>Agricultura</b> | <b>Mata</b> | <b>Pastagem</b> | <b>Urbano</b> |
|------------|--------------------|-------------|-----------------|---------------|
| 1995       | 12777,00           | 40392,00    | 167496,00       | 8917,00       |
| 2006       | 15908,76           | 43971,90    | 119201,45       | 21752,47      |

Fonte: IBGE, 1995.

Como o único censo agropecuário realizado por municípios pelo IBGE foi em 1995, para se obter os valores do ano 2006 apresentados nas Tabelas 9 e 10, desenvolveu-se uma fórmula para obtenção destes itens através dos dados de Minas Gerais disponibilizados pelo IBGE (2006) (EQUAÇÃO 19). Os valores utilizados para os dados populacionais foram de 2010 e 2017, pois em 2010 ocorreu um censo demográfico e em 2017 o IBGE apresentou o valor de população estimada, considerando-se o último censo como sendo de 2017 e penúltimo como sendo em 2010.

$$P_{06TO} = P_{06MG} \cdot (P_{95TO}) / (P_{95MG}) \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

$P_{06TO}$  = valores de 2006 para Teófilo Otoni

$P_{06MG}$  = valores de 2006 de Minas Gerais

$P_{95TO}$  = valores de 1995 de Teófilo Otoni

$P_{95MG}$  = valores de 1995 para Minas Gerais.

Os valores relativos ao número de animais e área de uso e ocupação do solo no estado de Minas Gerais para os anos de 1995 e 2006 estão expressos nas Tabelas 11 e 12 a seguir.

**Tabela 11- Número de animais em Minas Gerais**

| Ano  | Bovinos  | Suinos  | Aves      |
|------|----------|---------|-----------|
| 1995 | 20044616 | 2631321 | 67998000  |
| 2006 | 19911193 | 3329671 | 117713000 |

Fonte: IBGE, 2006.

**Tabela 12 - Área em hectares de uso e ocupação do solo em Minas Gerais**

| Ano  | Agricultura | Mata       | Pastagem    | Urbano     |
|------|-------------|------------|-------------|------------|
| 1995 | 4172135,00  | 7378088,00 | 25348603,00 | 3912834,00 |
| 2006 | 5194766,00  | 8032001,00 | 18039776,00 | 9545118,00 |

Fonte: IBGE, 2006.

Depois de calculadas as estimativas das cargas futuras para os anos de 2020, 2030, 2040 e 2050, partiu-se para o estudo hipotético das concentrações futuras do parâmetro de quantificação de *Escherichia coli* no ponto de lançamento do rio até uma distância de 50 km do ponto inicial. Devido à grande dificuldade de se quantificar as cargas geradas por meio de poluição difusa, e a falta de dados fluviométricos e pluviométricos da região, o presente trabalho deu ênfase a poluição gerada pela carga pontual de esgotamento doméstico. Portanto, foram consideradas apenas as cargas pontuais geradas pela população residente e pelas estimativas de populações futuras.

Além disso, foi considerado que as estações de tratamento de esgoto da região abrangem 95% da população (dados disponíveis pela COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS [COPASA], 2014). Esta porcentagem foi aplicada sobre o valor das

populações estimadas calculadas anteriormente, para a partir deste valor se calcular as cargas geradas pela população que foram destinadas a ETE.

Também foi considerado hipoteticamente que a ETE atua com uma eficiência de 99% sobre as cargas totais geradas, e que apenas 1% destas cargas tem seu destino final no rio Todos os Santos.

O valor da vazão do esgoto doméstico utilizado foi, devido à falta dados locais, o valor típico sugerido por Larentis (2004) de 200L por pessoa por dia. Entretanto, este valor foi multiplicado pelo coeficiente de retorno que é um valor típico de 0,80 (SPERLING, 2014).

A fórmula para a quantificação da concentração do parâmetro na mistura esgoto-rio está representada abaixo (EQUAÇÃO 20).

$$C_M = (Q_r \cdot C_r + C_e) / (Q_r + Q_e) \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

$C_M$  = concentração do parâmetro na mistura (NMP/ml)

$Q_r$  = a vazão do rio em questão (ml/dia)

$C_r$  = a concentração do parâmetro no rio (NMP/ml)

$Q_e$  = a vazão do esgoto (ml/dia)

$C_e$  = carga total não eliminada pela ETE (NMP/dia)

Como não é possível estimar a concentração do parâmetro *E. coli* no rio ( $C_r$ ), considerou-se, hipoteticamente que o rio se encontra dentro do limite exigido pela lei que é de 10 NMP/ml em todos os casos. A vazão do rio utilizada foi a vazão proposta e calculada por Aguiar (2014) que é de 341,3 L/s (29488320000ml/dia).

Após a obtenção desses dados foi calculada a concentração desse parâmetro na mistura, em função do tempo e da distância do mesmo ao ponto de lançamento, pela Equação 21.

$$C_t = C_M \cdot e^{-K_b \times t} \quad (\text{Equação 21})$$

Onde:

$C_t$  = a concentração do parâmetro no instante t (NMP/ml)

$C_M$  = a concentração do parâmetro na mistura (NMP/ml)

$K_b$  = coeficiente de decaimento bacteriano

t = tempo dado em dias.

O valor Kb considerado foi o valor típico sugerido por Sperling (2014) de 1,23 a uma temperatura de 23°C e o tempo t foi achado através da Equação 22, onde d é a distância considerada do rio e v é a velocidade de escoamento, onde novamente pela falta de dados considerou-se a velocidade de escoamento do rio, o valor sugerido por Sperling (2014) para rio de classe 2 de 0,35m/s (ou 30240 m/dia).

$$D = v \cdot t \quad \text{(Equação 22)}$$

Onde:

D= distância ao ponto de lançamento

v= velocidade de escoamento do rio

t= tempo dado em dias

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises Químicas e Físico-Químicas

As amostras de água coletadas do Rio Todos os Santos no Distrito de Pedro Versiani-Teófilo Otoni/MG foram submetidas à análises químicas e físico-químicas para verificação do seu processo de contaminação. Os resultados foram comparados com os valores máximos preconizados pela Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para rios de Classe II.

Na Tabela 13 estão apresentados os valores máximos permitidos para cada parâmetro físico-químico preconizado pelo CONAMA (2005) e CETESB (2010), e seus respectivos resultados médios obtidos para as três repetições das amostras coletadas nos anos de 2012, 2015 e 2018.

**Tabela 13 - Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas no rio Todos os Santos (Pedro Versiani – Teófilo Otoni/MG), nos anos de 2012, 2015 e 2018 comparados com os dados preconizados pelo CONAMA e CETESB.**

| Parâmetros                       | Concentração<br>Ano (2012) | Concentração<br>Ano (2015) | Concentração<br>Ano (2018) | V M P*<br>Classe 2 |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| Oxigênio Dissolvido (mg/L)       | 6,95±0,70 a                | 6,38±0,24 a                | 6,27±0,19 a                | >5,00*             |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP/mL) | 445,00±8,00 c              | 290,00±7,07 b              | 93,00±8,00 a               | <10,00*            |
| pH                               | 7,09±0,34 a                | 7,12±0,33 a                | 6,4±0,37 a                 | 6,00 a 9,00*       |
| Temperatura da água (°C)         | 24,40±0,14 ab              | 20,12±2,95 a               | 27,60±0,52 b               | -                  |
| Turbidez (NTU)                   | 27,20±0,28 c               | 16,30±2,47 a               | 20,30±0,23 b               | <100,00*           |
| Condutividade (µS cm-1)          | 233,40±14,53 a             | 207,60±12,02 a             | 202,20±13,50 a             | <100,00**          |

V M P\*: Valor Máximo Permitido – CONAMA, 2005.

Valor Máximo Permitido\*\*- CETESB, 2010.

Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam que as médias não apresentam diferenças estatísticas pelo ANOVA a 5% de significância.

A Tabela 14 apresenta os valores das coletas obtidas pelo IGAM para os mesmos anos e ponto em questão (Pedro Versiani). Os dados obtidos pelo IGAM, não passaram por análises estatísticas, uma vez que o site disponibiliza apenas as médias totais obtidas em cada coleta. Nessa tabela, os valores apresentados pelo site do IGAM para o ano de 2018 não foram disponibilizados ainda, pelo instituto.



**Tabela 14- Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas no rio Todos os Santos (Pedro Versiani – Teófilo Otoni/MG) e analisadas pelo IGAM.**

| Parâmetros                       | Concentração | Concentração | V M P        |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                  | Ano (2012)   | Ano (2015)   | Classe 2     |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L)       | 5,30         | 5,20         | >5,00*       |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP/mL) | 50,00        | 72,69        | <10,00*      |
| pH                               | 7,30         | 7,00         | 6,00 a 9,00* |
| Temperatura da água (°C)         | 25,30        | 24,60        | -            |
| Turbidez (NTU)                   | 49,50        | 29,30        | <100,00*     |
| Condutividade (µS cm-1)          | 281,00       | 244,00       | <100,00**    |

V M P\*: Valor Máximo Permitido – CONAMA, 2005, Valor Máximo Permitido\*\*- CETESB, 2010.

Os parâmetros físico-químicos são importantes indicadores de poluição e podem tanto confirmar o processo de contaminação, como servir de base preliminar para futuras análises.

Começando pela análise do oxigênio dissolvido representado na Tabela 13, pode-se observar que esse índice não apresentou diferenças significativas ao longo dos anos de nossas coletas. Ao se observar este parâmetro na Tabela 14 determinado pelo IGAM, observou-se que o mesmo também não teve seus índices alterados com o passar dos anos de 2012 para 2015.

Vale ressaltar também, que em todos os casos o oxigênio dissolvido encontrou-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA (2005), não representando riscos para população que faz o uso destas águas “in natura”. Ao se comparar os valores determinados pelo IGAM (TAB. 14) com os observados em nossa pesquisa (TAB. 13) nota-se uma diferença numérica entre os mesmos. Os valores de oxigênio dissolvido corroboram com os valores encontrados por Alves et al. (2012) que desenvolveu uma pesquisa semelhante para o rio Pirapó em Maringá - Paraná, também encontrou-se dentro dos limites preconizados pelo CONAMA (2005) para um rio de Classe II.

O parâmetro microbiológico de quantificação de *Escherichia coli* representado na Tabela 13 apresentou uma menor quantidade desse microrganismo para o ano de 2018 diferindo estatisticamente dos anos de 2015 e 2012, sendo que no ano de 2012 os piores valores de contaminação microbiana foram encontrados. Pode-se notar que de 2012 para 2018 ocorreu uma redução significativa desse índice que passou de 445,00 para 93,00 NMP mL<sup>-1</sup>, o qual pode ser justificado pela instalação da ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) na região, que deve

ter contribuído para a redução de microrganismos maléficos no meio. Entretanto, ao se confrontar estes valores com os limites exigidos pela Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do CONAMA que estabelece um limite de 10 NMP/mL, para todos os anos analisados, os índices encontraram-se acima do valor estipulado, indicando que o rio se encontra altamente contaminado com material de origem fecal e ainda existe muito que ser feito para a redução e enquadramento do rio na classe II. Estes valores, assim como os resultados encontrados por Moura, Assumpção e Bischoff (2009), que realizaram análises microbiológicas do rio Cascavel no Estado do Paraná, apresentam-se como uma problemática grave, pois a contaminação fecal é responsável pela ocorrência de várias doenças intestinais.

Ao se confrontar os dados obtidos em nossas coletas com os dados disponíveis pelo IGAM, observa-se uma grande discrepância de valores. Em 2012 o valor da coleta do nosso trabalho para *Escherichia coli* foi cerca de nove vezes maior que o dado obtido pelo IGAM, e em 2015 quatro vezes maior.

Os valores de pH representados na Tabela 13 mostram valores de pH de 7,09 no ano de 2012, 7,12 em 2015 e 6,47 em 2018, encontrando-se dentro dos limites preconizados, sem diferenças estatísticas com o passar dos anos. O mesmo pode ser visto na Tabela 14 onde os valores determinados pelo IGAM foram de 7,30 em 2012 e 7,00 em 2015, estando os mesmos dentro dos limites vigentes. Os valores de nossas coletas (TAB. 13) e os apresentados pelo IGAM (TAB. 14) também se encontram numericamente próximos, não indicando discrepância de dados. Os valores de pH corroboram com os resultados encontrados por Nogueira, Costa e Pereira (2015), que realizaram uma pesquisa similar para o córrego Água Branca, em Nerópolis – Goiás, onde os mesmos também estiveram próximos a neutralidade e portanto, dentro dos limites imposto pelo CONAMA (2005) para rio de Classe II.

Na Tabela 13 o valor de temperatura para o ano de 2012 foi estatisticamente igual aos dos anos de 2015 e 2018. Entretanto, os valores das médias de 2015 e 2018 estiveram distintos estatisticamente entre si. O valor deste parâmetro encontrou-se maior em 2018 onde o mesmo apresentou um aumento em seu índice, que passa de 20,12 °C em 2015 para 27,60 °C em 2018. Como dito anteriormente, o aumento da temperatura pode acarretar uma série de consequências para a qualidade das águas como a diminuição da solubilidade dos gases, como por exemplo, do oxigênio dissolvido (SPERLING, 2014). Apesar da importância deste parâmetro e da significância do mesmo para a avaliação da qualidade das águas, não existe nas leis brasileiras um valor máximo ou mínimo do parâmetro em questão.

Na Tabela 14, o valor da temperatura determinado pelo IGAM de 2012 para 2015 apresentou uma leve redução, indicando uma possível melhora neste sentido. Ao compararmos

os dados do nosso trabalho e os dados do IGAM para esse parâmetro, somente no ano de 2015 notamos uma leve discrepância entre os dados. Os valores de temperatura encontrados são similares aos encontrados por Bueno, Galbiatti e Borges (2005), que realizou sua pesquisa para as águas do Horto Ouro Verde, em Conchal, São Paulo.

Para a turbidez, a Tabela 13 apresenta os resultados de 27,20 NTU em 2012, 16,30 NTU em 2015 e 20,30 NTU em 2018, estando esses valores dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA (2005), que vai até 100 NTU. Como pode-se notar, estes dados são estatisticamente diferentes, sendo que em 2015, o valor de turbidez apresentou-se menor em relação aos outros anos. A Tabela 14 apresenta os valores determinados pelo IGAM ainda maiores que os do nosso estudo, sendo de 49,50 NTU para 2012 e de 29,30 NTU em 2015, porém, os mesmos ainda se encontram dentro do limite estabelecido pelo CONAMA. Os resultados de turbidez não corroboram com os resultados encontrados por Alves et al. (2012), onde a turbidez do rio Pirapó se encontrou acima do limite do CONAMA (2005), apresentando o Rio Todos os Santos melhores valores de turbidez.

Apesar dos resultados estarem de acordo com o CONAMA, os valores de turbidez apresentam-se elevados se comparados com a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, que prevê padrões de potabilidade e estabelece o limite de até 5 NTU.

Os resultados de condutividade elétrica apresentados nas Tabelas 13 e 14 ultrapassam o valor de  $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ , que se constitui no valor máximo aceitável, para todos os anos analisados, havendo uma pequena discrepância dos nossos dados com os obtidos pelo IGAM. Na Tabela 14 apesar deste valor ter diminuído de um ano para o outro, essa diminuição não foi significativa.

O CONAMA (2005), não prevê padrões para a condutividade, mas de acordo com a CETESB (2010), valores para condutividade elétrica acima de  $100 \mu\text{S cm}^{-1}$  indicam ambientes impactados. A alteração desse parâmetro confirma o lançamento de efluentes no Rio Todos os Santos, visto que a condutividade elétrica da água aumenta à medida que mais sólidos solúveis são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas à água (CETESB, 2010), além de admitir maior carga de íons presentes no Rio. Os valores de condutividade não corroboram com os valores encontrados por Nogueira, Costa e Pereira (2015), pois para os pontos analisados do córrego Água Branca, a maioria se encontrou inferior ao valor de  $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ , atestando um problema ambiental para as águas do Rio todos os Santos.

Na Tabela 15 são apresentados os resultados da determinação da concentração de 19 elementos químicos avaliados para as amostras de água coletadas em nosso estudo. Foi verificado que dois desses elementos, Alumínio e Ferro, apresentaram valores acima do

estabelecido pelo CONAMA. Esses compostos encontraram-se alterados nas amostras analisadas para todos os anos, representando um problema para a qualidade da água desse rio, uma vez que esses elementos em excesso, provocam efeitos adversos em nosso organismo. Estudos realizados em outros rios brasileiros como no Rio Sinos, Rio Grande do Sul (NUNES et al., 2011) e em águas de minas e redes de abastecimento público nas cidades de São Gonçalo e Duque de Caxias, Rio de Janeiro (FREITAS, BRILHANTE E ALMEIDA 2001), também revelaram alteração de Alumínio.

O Alumínio, por exemplo, é um metal neurotóxico que se acumula em vários tecidos, incluindo ossos, cérebro e outros órgãos do corpo humano (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001). Os principais sinais e sintomas da intoxicação são a anemia hipocrômica e microcítica, agitação, confusão mental, convulsão, a encefalopatia dialítica e as doenças ósseas denominadas de osteomalácia e doença óssea adinâmica (ATSDR, 2008). Por ser de excreção predominantemente renal, essa toxicidade assume elevada importância nos pacientes com doença renal crônica (ATSDR, 2008). Há também a possibilidade de o alumínio desempenhar um papel importante no desenvolvimento da doença de Alzheimer (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001; ATSDR, 2008).

O Ferro, no corpo humano, desempenha importantes funções no metabolismo, tais como, transporte e armazenamento de oxigênio, reações de liberação de energia na cadeia de transporte de elétrons, cofator de algumas reações enzimáticas e produção da hemoglobina. A sua carência pode causar anemia (COOK; BAYNES, SKIKNE, 2007; PAIVA; RONDÓ; GUERRA-SHINOHARA, 2000) e em excesso, esse elemento acumula-se principalmente no fígado, pâncreas e coração, podendo aumentar a incidência de problemas cardíacos, diabetes, cirrose hepática, hemocromatose e outras complicações hepáticas, pois o homem tem capacidade limitada para excretar o excesso de ferro (SIQUEIRA; COSTA NETO; ROJAS, 2011).

Com relação ao alumínio o maior valor foi encontrado em 2015, e o menor em 2018, indicando uma significativa diminuição de suas concentrações com passar destes anos. Já o ferro apresentou uma redução em sua concentração ao longo dos anos.

**Tabela 15 - Determinação da concentração de 19 elementos químicos nas amostras de água coletadas no rio Todos os Santos (Pedro Versiani – Teófilo Otoni/MG), nos anos de 2012, 2015 e 2018 e o valor máximo permitido desses elementos pelo CONAMA.**

| Elementos | Concentração       | Concentração       | Concentração       | V M P                        |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
|           | ± SD<br>Ano (2012) | ± SD<br>Ano (2015) | ± SD<br>Ano (2018) |                              |
| Alumínio  | 203,41 ± 0,83 b    | 250,00 ± 8,00 c    | 40,64 ± 1,42 a     | 100,0 µg L <sup>-1</sup> Al  |
| Arsênio   | <LD a              | <LD a              | 0,11±0,01 b        | 10,0 µg L <sup>-1</sup> As   |
| Bário     | 40,62 ± 2,14 c     | 31,00 ± 0,48 b     | 10,85±0,56 a       | 700,0 µg L <sup>-1</sup> Ba  |
| Berílio   | <LD a              | <LD a              | 0,02±0,01 b        | 40,0 µg L <sup>-1</sup> Be   |
| Cádmio    | <LD a              | <LD a              | 0,02±0,01 b        | 1,0 µg L <sup>-1</sup> Cd    |
| Chumbo    | <LD a              | 2,58 ± 0,03 c      | 0,69±0,02 b        | 10,0 µg L <sup>-1</sup> Pb   |
| Cobre     | <LD a              | <LD a              | 3,44±0,12 b        | 9,0 µg L <sup>-1</sup> Cu    |
| Cobalto   | <LD a              | <LD a              | 0,10±0,02 b        | 50,0 µg L <sup>-1</sup> Co   |
| Cromo     | <LD a              | 2,60 ± 0,13 b      | 1,42±0,14 c        | 50,0 µg L <sup>-1</sup> Cr   |
| Ferro     | 2063,86 ± 17,06 c  | 602,00 ± 8,80 b    | 448,30±5,56 a      | 300,0 µg L <sup>-1</sup> Fe  |
| Fósforo   | 0,38 ± 0,22 a      | 0,23 ± 0,07 a      | 0,25±0,12 a        | 20,0 µg L <sup>-1</sup> P    |
| Lítio     | <LD a              | 1,85 ± 0,01 c      | 0,19±0,01 b        | 2500,0 µg L <sup>-1</sup> Li |
| Manganês  | 60,33 ± 1,93 c     | 0,58 ± 0,03 a      | 21,76±2,35 b       | 100,0 µg L <sup>-1</sup> Mn  |
| Mercurio  | <LD a              | <LD a              | <LD a              | 0,2 µg L <sup>-1</sup> Hg    |
| Níquel    | <LD a              | <LD a              | 0,30±0,10 b        | 25,0 µg L <sup>-1</sup> Ni   |
| Prata     | <LD a              | 0,52± 0,08 c       | 0,20±0,06 b        | 10,0 µg L <sup>-1</sup> Ag   |
| Selênio   | 3,09 ± 1,77 c      | <LD a              | 0,94±0,04 b        | 10,0 µg L <sup>-1</sup> Se   |
| Urânio    | <LD a              | <LD a              | 0,04±0,01 b        | 20,0 µg L <sup>-1</sup> U    |
| Vanádio   | <LD a              | 5,53 ± 0,04 b      | 5,87 ± 0,01 b      | 100,0 µg L <sup>-1</sup> V   |

V.M.P: Valor Máximo Permitido – CONAMA, 2005.

SD: Desvio Padrão.

LD: Abaixo do Limite de Detecção.

Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam que as médias não apresentam diferenças estatísticas pelo ANOVA a 5% de significância.

## 5.2 Análise de Risco

Segundo Miguel et al. (2007) e Wu et al. (2010) a exposição dos seres humanos aos elementos químicos pode ocorrer por meio da inalação, absorção dérmica ou ingestão, sendo esta última a mais significativa em se tratando de água potável. Por este motivo a presente pesquisa considerou os efeitos apenas para ingestão de substâncias químicas por meio da água.

Para a Avaliação de Risco calculou-se a ADD (dose média diária) para os elementos químicos: Alumínio, Arsênio, Bário, Berílio, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cromo, Ferro, Fósforo, Lítio, Manganês, Prata, Níquel, Selênio, Vanádio e Urânio. Para os demais elementos químicos não foi calculado a ADD, pois os mesmos apresentarem índices abaixo do limite de detecção do equipamento.

Os valores de ADD para os anos de 2012, 2015 e 2018 e a RfD (Dose de Referência Diária) estão representados na Tabela 16.

**Tabela 16 – Valores da Dose Média Diária (ADD) de diferentes elementos detectados em amostras de águas coletadas no rio Todos os Santos, nos anos de 2012, 2015 e 2018 e a Dose de Referência Diária (RfD).**

| Elemento | ADD (2012) |        | ADD (2015) |       | ADD (2018) |       | RfD     |
|----------|------------|--------|------------|-------|------------|-------|---------|
|          | A          | C      | A          | C     | A          | C     |         |
| Alumínio | 5,98       | 13,56  | 7,35       | 16,67 | 1,20       | 2,71  | 1000,00 |
| Arsênio  | 0,00       | 0,00   | 0,00       | 0,00  | 0,00       | 0,01  | 0,30    |
| Bário    | 1,19       | 2,71   | 0,91       | 2,07  | 0,32       | 0,72  | 200,00  |
| Berílio  | 0,00       | 0,00   | 0,00       | 0,00  | 0,00       | 0,00  | 2,00    |
| Cádmio   | 0,00       | 0,00   | 0,00       | 0,00  | 0,00       | 0,00  | 0,50    |
| Chumbo   | 0,00       | 0,00   | 0,08       | 0,17  | 0,02       | 0,05  | NA      |
| Cobre    | 0,00       | 0,00   | 0,00       | 0,00  | 0,10       | 0,23  | 40,00   |
| Cobalto  | 0,00       | 0,00   | 0,00       | 0,00  | 0,00       | 0,01  | NA      |
| Cromo    | 0,00       | 0,00   | 0,08       | 0,17  | 0,04       | 0,09  | 3,00    |
| Ferro    | 60,70      | 137,59 | 17,71      | 40,13 | 13,19      | 29,89 | 700,00  |
| Fósforo  | 0,01       | 0,03   | 0,01       | 0,02  | 0,01       | 0,02  | NA      |
| Lítio    | 0,00       | 0,00   | 0,05       | 0,12  | 0,01       | 0,01  | 20,00   |
| Manganês | 1,77       | 4,02   | 0,02       | 0,04  | 0,64       | 1,45  | 20,00   |
| Níquel   | 0,00       | 0,00   | 0,00       | 0,00  | 0,01       | 0,02  | 20,00   |
| Prata    | 0,00       | 0,00   | 0,02       | 0,03  | 0,01       | 0,01  | 5,00    |
| Selênio  | 0,09       | 0,21   | 0,00       | 0,00  | 0,03       | 0,06  | 5,00    |
| Vanádio  | 0,00       | 0,00   | 0,16       | 0,37  | 0,17       | 0,39  | 1,00    |
| Urânio   | 0,00       | 0,00   | 0,00       | 0,00  | 0,00       | 0,00  | 3,00    |

ADD: Dose de ingestão diária ( $\mu\text{g/kg.dia}$ )

A: Adultos

C: Crianças

RfD: Dose de Referência Diária ( $\mu\text{g/kg.dia}$ )

NA: Não Avaliado.

Como pode ser observado, nenhum dos valores dos elementos avaliados ultrapassaram os valores máximos da RfD. Entretanto, com o passar dos anos as ADDs tanto para adultos quanto para crianças no caso dos elementos Arsênio, Cobre, Cobalto, Níquel e Vanádio estão aumentando, indicando que, se não houver a interferência de fatores externos, a tendência destes valores é continuarem aumentando, e em anos futuros ultrapassar a Dose de

Referência Diária submetendo a população á graves riscos de saúde. Valores similares foram encontrados em um estudo sobre a contaminação de metais na Bacia do rio Subarnarekha na Índia, onde para os metais analisados todos também tiveram suas doses médias diárias abaixo dos valores de referência (GIRI; SINGH, 2015).

Vale ressaltar, que apesar de a ADD para o alumínio estar abaixo do máximo recomendado pela USEPA (acesso em 5 jan. 2018), estima-se que a água de beber é responsável apenas por 4% da ingestão total de alumínio pela população, o que daria um valor de 5,6 µg/Kg.dia de alumínio de origem da água de beber. Neste caso, os valores encontrados nas amostras de água, mostram valores acima deste valor, considerando a contribuição da água na dieta da população. Para os demais elementos o risco de exposição não é totalmente descartado, já que há outras fontes de elementos químicos na dieta (verduras, frutas, enlatados, comidas em geral), o que também aumentaria o valor da ingestão diária de cada metal analisado.

Os valores de Cocientes de Riscos (HQ) e índices de Riscos HI estão representados na Tabela 17. Os riscos para o elemento Chumbo, Cobalto e Fósforo não foram determinado no presente estudo, uma vez que os mesmos não apresentam valores de referência (RfD e SF) fornecidos pela USEPA.

**Tabela 17- Cocientes de Riscos (HQ) e Índices de Riscos (HI) para diferentes elementos químicos detectados nas amostras de água coletadas no rio Todos os Santos nos anos de 2012, 2015 e 2018.**

| Elemento  | HQ (2012)    |              | HQ (2015)    |              | HQ (2018)    |              |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | A            | C            | A            | C            | A            | C            |
| Alumínio  | 0,006        | 0,014        | 0,007        | 0,017        | 0,001        | 0,003        |
| Arsênio   | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,033        |
| Bário     | 0,006        | 0,014        | 0,005        | 0,010        | 0,002        | 0,004        |
| Berílio   | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        |
| Cádmio    | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        |
| Cobre     | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,003        | 0,006        |
| Cromo     | 0,000        | 0,000        | 0,027        | 0,057        | 0,013        | 0,030        |
| Ferro     | 0,087        | 0,197        | 0,025        | 0,057        | 0,019        | 0,043        |
| Lítio     | 0,000        | 0,000        | 0,003        | 0,006        | 0,001        | 0,001        |
| Manganês  | 0,089        | 0,201        | 0,001        | 0,002        | 0,032        | 0,073        |
| Prata     | 0,000        | 0,000        | 0,004        | 0,006        | 0,002        | 0,002        |
| Selênio   | 0,018        | 0,042        | 0,000        | 0,000        | 0,006        | 0,012        |
| Vanádio   | 0,000        | 0,000        | 0,160        | 0,370        | 0,170        | 0,390        |
| Urânio    | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        |
| <b>HI</b> | <b>0,206</b> | <b>0,468</b> | <b>0,232</b> | <b>0,525</b> | <b>0,248</b> | <b>0,595</b> |

HQ: Cociente de Risco

HI: Índice de Risco

De acordo com a Tabela 17, para todos os anos e tanto para adultos quanto para crianças, os valores do Cociente de Risco em nenhum dos casos superou os 100% da Dose de Referência Diária, o que refletiu no Índice de Risco, que em todos os casos também estiveram abaixo de 1, não indicando a possibilidade de efeitos adversos a saúde humana. O mesmo pode ser observado em um estudo efetuado por Yang et al. (2015), onde para o rio Wei na China os valores dos metais analisados também estiveram inferiores a 1. Entretanto, como pode ser visto na Tabela 17, os Índices de Riscos aumentaram consideravelmente ao longo dos anos, e em 2018 para as crianças, seu valor esteve bem próximo a 1, chamando a atenção para implementação de medidas que venham diminuir a concentração destes contaminantes no rio.

O Risco de Câncer foi calculado apenas para os elementos Arsênio e Cromo por se tratarem dos únicos elementos com potencial carcinogênico humano e com embasamento científico suficiente das indústrias farmacêuticas para que a USEPA conseguisse desenvolver o Slope Factor.

Ao longo de 70 anos de vida, o valor do Risco de Câncer para o cromo em 2015 foi de  $4,00 \cdot 10^{-5}$  em 2018 foi de  $4,5 \cdot 10^{-5}$ , Já para o Arsênio os valores de 2015 e 2018 deram zero, e nestes casos os valores estiveram dentro do limite de  $10^{-6}$  e  $10^{-4}$ , não aumentando portanto, a probabilidade de se obter câncer ao longo da vida ao se ingerir as Doses Médias Diárias para estas substâncias. O mesmo pode ser observado por Giri e Singh (2015), onde os valores de Arsênio e Cromo também estiveram dentro do limite considerável como aceitável.

### **5.3 Análise do IQA e IET**

Os valores dos IQAs e IETs calculados para as amostras de água do Rio Todos os Santos nos diferentes anos de nossas coletas e das coletas do IGAM estão representados na Tabela 18.



**Tabela 18 - IQA e IET calculados para as amostras de água coletadas no rio Todos os Santos e os dados disponibilizados das coletas realizadas pelo IGAM para diferentes anos.**

| Índice | Coleta<br>ANO<br>(2012) | IGAM<br>ANO<br>(2012) | Coleta<br>ANO<br>(2015) | IGAM<br>ANO<br>(2015) | Coleta<br>ANO<br>(2018) |
|--------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| IQA    | 51                      | 56                    | 53                      | 55                    | 56                      |
| IET    | 51                      | 49                    | 48                      | 49                    | 49                      |

IQA: Índice de Qualidade da Água

IET: Índice de Estado Trófico.

A Tabela 18 não apresenta os valores de IQA e IET para as coletas realizadas pelo IGAM em 2018, pois estes valores ainda não se encontram disponibilizados pelo órgão.

De uma forma geral pode-se dizer que o IQA melhorou com o passar dos anos nas amostras analisadas pelo nosso grupo, entretanto, esta melhora não foi suficiente para elevar o IQA a um outro quadro de classificação, pois todos os anos apresentam IQA variando de 51 a 56, e como já dito anteriormente IQAs que apresentam seus índices entre 50 a 70, se encontram classificados na categoria média, ou seja a qualidade do rio para os anos analisados manteve-se média, sendo uma característica preocupante para esse rio. Outros estudos desenvolvidos no Brasil como o de Adrietti et al. (2016), mostraram que a qualidade da água do rio Caiabi no Mato Grosso, apresentam os valores do IQA dentro da categoria boa, variando de 70 a 90.

Pode-se observar também, que os valores do IGAM e das nossas coletas se apresentaram numericamente próximos.

Com relação ao IET houve uma queda deste parâmetro em nossas análises, porém, mesmo com essa diminuição, em todos os casos o IET apresenta-se como um valor que permite classificar esse ambiente como Oligotrófico, estando no intervalo de 47 a 52. Os dados de IGAM e das nossas coletas também se apresentaram próximos para esse parâmetro. Para o estudo de Adrietti et al. (2016) os valores encontrados também foram bem diferentes, onde para este estudo os valores dos IET encontraram-se classificado como Ultraoligotróficos tendo índices inferiores a 47.

#### **5.4 Análise da Tendência Comportamental do IQA ao longo dos anos**

Os IQAs calculados para os parâmetros, quantificação de *Eschechira coli*, Oxigênio dissolvido, Temperatura, Turbidez e pH, para os dados fornecidos pelo IGAM de 1997 a 2017 encontram-se representados nas Tabelas 19 e 20.

Como pode ser observado nessas tabelas, com exceção dos anos de 1999, 2002, 2004 e 2005, o IQA apresentou poucas variações e permaneceu classificado como médio dentro destes 21 anos de análises. O pior valor de IQA foi apresentado para o ano de 2002 (42,0), devido principalmente aos parâmetros de qualidade, com o segundo pior índice de *Escherichia coli*, o terceiro pior índice de oxigênio dissolvido e o pior índice de turbidez desses registros históricos.

O melhor índice de IQA foi obtido para o ano de 1998, com índice de 63,00, o que nos chama a atenção, uma vez que esse resultado foi obtido há aproximadamente 20 anos.

**Tabela 19- IQAs calculados de acordo com os dados disponibilizados pelo IGAM de 1997 a 2007.**

| <b>Parâmetros</b>          | <b>Ano</b>  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | <b>1997</b> | <b>1998</b> | <b>1999</b> | <b>2000</b> | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | 4,20        | 6,30        | 6,70        | 5,70        | 5,40        | 4,90        | 6,30        | 5,80        | 5,90        | 5,40        | 5,40        |
| Escherichia coli (NMP/mL)  | 28,00       | 17,00       | 3000,00     | 110,00      | 170,00      | 1600,00     | 240,00      | 500,00      | 900,00      | 80,00       | 80,00       |
| Temperatura da Água (°C)   | 34,00       | 26,00       | 25,00       | 27,00       | 27,10       | 26,50       | 26,90       | 25,80       | 25,70       | 27,00       | 27,30       |
| Ph                         | 6,50        | 6,80        | 6,80        | 7,10        | 7,06        | 6,84        | 6,40        | 7,10        | 6,40        | 6,80        | 6,50        |
| Turbidez (NTU)             | 13,00       | 25,40       | 26,80       | 73,60       | 23,80       | 99,40       | 9,12        | 69,20       | 52,30       | 96,90       | 46,00       |
| <b>IQA</b>                 | 59,00       | 63,00       | 48,00       | 55,00       | 55,00       | 42,00       | 55,00       | 49,00       | 48,00       | 51,00       | 55,00       |

IQA: Índice de Qualidade da Água.

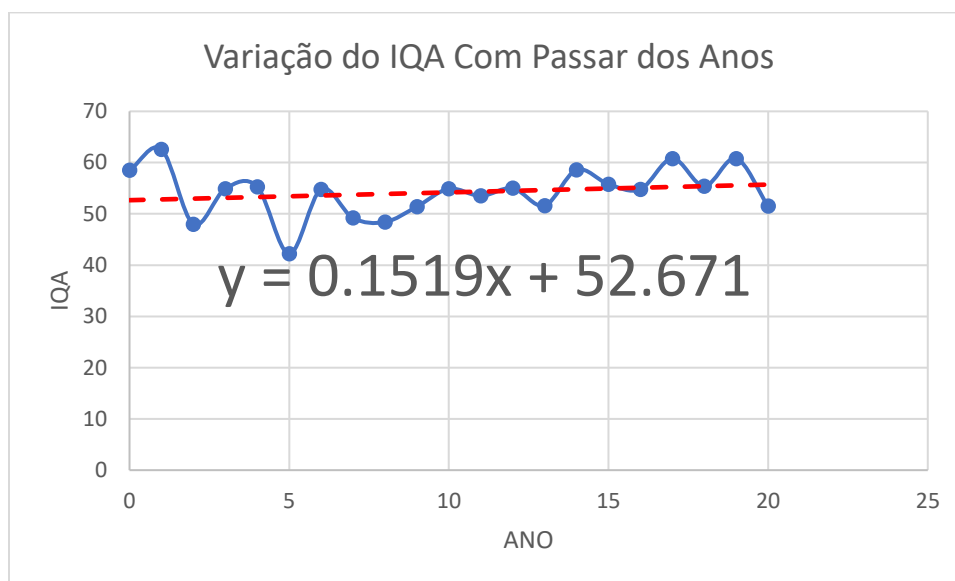
**Tabela 20- IQAs calculados de acordo com os dados disponibilizados pelo IGAM de 2008 a 2017.**

| <b>Parâmetros</b>          | <b>Ano</b>  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | 4,40        | 6,10        | 5,60        | 5,50        | 5,30        | 5,90        | 5,40        | 5,20        | 6,40        | 4,20        |
| Escherichia coli (NMP/mL)  | 50,00       | 80,00       | 220,00      | 17,00       | 50,00       | 110,00      | 23,00       | 72,69       | 61,31       | 64,88       |
| Temperatura da Água (°C)   | 30,50       | 27,30       | 27,00       | 27,10       | 25,30       | 22,40       | 24,80       | 24,60       | 27,00       | 22,50       |
| Ph                         | 6,70        | 6,50        | 7,20        | 6,70        | 7,30        | 6,50        | 6,60        | 7,00        | 7,30        | 7,00        |
| Turbidez (NTU)             | 66,50       | 53,10       | 59,40       | 58,50       | 49,50       | 27,50       | 21,30       | 29,30       | 19,00       | 6,93        |
| <b>IQA</b>                 | 54,00       | 55,00       | 52,00       | 59,00       | 56,00       | 55,00       | 61,00       | 55,00       | 61,00       | 52,00       |

IQA: Índice de Qualidade da Água.

Para representação gráfica desses IQAs, foi construído o Gráfico 1, que apresenta a equação de linha de tendência do IQA ao longo dos anos. No eixo Y encontram-se os valores de IQA e no eixo X os valores correspondentes aos anos em questão, onde atribuiu-se valores de zero a vinte para representar os anos de 1997 a 2017 ordenados de forma crescente.

**Gráfico 1 – Tendência Comportamental do IQA ao Longo dos Anos a partir de dados disponibilizados pelo IGAM.**



Como pode ser visto, se aplicarmos a derivada da equação da reta, obteremos um valor de 0,15, o que nos mostra que a tendência central do IQA tem sido de melhora de 0,15 de seu índice por ano. Entretanto, este valor é muito irrisório, mostrando que as políticas de saneamento ambiental precisam atuar no sentido de que índices de qualidade de água melhores sejam atingidos, elevando esses valores de IQA.

### 5.5 Análise de Cenários Futuros para o Parâmetros de *Escherichia coli*

De acordo com a Tabela 21, pode-se visualizar os valores de carga total de *E. coli* previstas para a população do município de Teófilo Otoni no período de 2018 a 2050.

**Tabela 21 – Estimativa das cargas totais de *Escherichia coli* baseadas no crescimento da população de Teófilo Otoni/MG ao longo dos anos.**

| Ano  | População Estimada | Taxa de Crescimento | Carga Total <i>Escherichia coli</i> |
|------|--------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 2018 | 142961             | 1027                | $1,43 \times 10^{15}$               |
| 2020 | 145015             | 1027                | $1,45 \times 10^{15}$               |
| 2030 | 155285             | 1027                | $1,55 \times 10^{15}$               |
| 2040 | 165555             | 1027                | $1,65 \times 10^{15}$               |
| 2050 | 175825             | 1027                | $1,76 \times 10^{15}$               |

População Estimada: (habitantes)

Taxa de Crescimento Populacional: (habitantes/ano)

*Escherichia coli*: NMP/dia.

Como pode ser observado, a estimativa das cargas totais para o parâmetro *E. coli* (TAB. 21) não apresenta grandes variações ao longo dos anos, uma vez que de acordo com a baixa taxa de crescimento populacional estimada, o aumento causado nesse índice se torna pouco significativo.

Para as cargas geradas em função da pecuária, os dados estão representados nas Tabelas 22 e 23, onde a Tabela 24 apresenta os valores de cargas totais correspondentes aos rebanhos bovino, suíno e de aves separadamente, enquanto que as cargas totais para *E. coli* para a pecuária incluindo esses 3 grupos estão representadas na Tabela 23.

**Tabela 22 – Cargas totais de *Escherichia coli* para os rebanhos bovino, suíno e de aves.**

| Ano  | Rebanho | Nº de Cabeças Estimadas | Taxa de Crescimento | Carga Total <i>Escherichia coli</i> |
|------|---------|-------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 2018 | Bovino  | 105531                  | -66,27              | $5,70 \times 10^{14}$               |
| 2020 | Bovino  | 105398                  | -66,27              | $5,69 \times 10^{14}$               |
| 2030 | Bovino  | 104735                  | -66,27              | $5,65 \times 10^{14}$               |
| 2040 | Bovino  | 104073                  | -66,27              | $5,62 \times 10^{14}$               |
| 2050 | Bovino  | 103410                  | -66,27              | $5,58 \times 10^{14}$               |
| 2018 | Suíno   | 19529                   | 301,09              | $1,74 \times 10^{14}$               |
| 2020 | Suíno   | 20131                   | 301,09              | $1,79 \times 10^{14}$               |
| 2030 | Suíno   | 23142                   | 301,09              | $2,06 \times 10^{14}$               |
| 2040 | Suíno   | 26153                   | 301,09              | $2,33 \times 10^{14}$               |
| 2050 | Suíno   | 29153                   | 301,09              | $2,59 \times 10^{14}$               |
| 2018 | Aves    | 392080                  | 1307,82             | $9,41 \times 10^{13}$               |
| 2020 | Aves    | 412695                  | 1307,82             | $9,90 \times 10^{13}$               |
| 2030 | Aves    | 515774                  | 1307,82             | $1,24 \times 10^{14}$               |
| 2040 | Aves    | 618852                  | 1307,82             | $1,48 \times 10^{14}$               |
| 2050 | Aves    | 721930                  | 1307,82             | $1,73 \times 10^{14}$               |

Taxa de Crescimento: (cabeças/ano) - *Escherichia coli*: NMP/dia.

Como pode ser visto na Tabela 22 a taxa de crescimento bovina apresenta um número negativo, indicando que este rebanho está sofrendo uma diminuição com o passar dos anos, devido principalmente ao aumento do número de abates dos animais (IBGE, 2010) e ao custo benefício, visto que está aumentando cada vez mais o consumo de carnes brancas, o que também pode ser verificado pela taxa de crescimento de aves que é o maior índice dos rebanhos analisados.

**Tabela 23 – Cargas totais de *Escherichia coli* para a atividade Pecuária.**

| Ano         | Carga Total <i>Escherichia coli</i> |
|-------------|-------------------------------------|
| <b>2018</b> | 8,38x10 <sup>14</sup>               |
| <b>2020</b> | 8,47x10 <sup>14</sup>               |
| <b>2030</b> | 8,95x10 <sup>14</sup>               |
| <b>2040</b> | 9,43x10 <sup>14</sup>               |
| <b>2050</b> | 9,91x10 <sup>14</sup>               |

*Escherichia coli*: NMP/dia.

Na Tabela 23 encontram-se as cargas totais geradas pela pecuária englobando os 3 rebanhos, em que se verifica um aumento gradual das cargas de *E. coli* mesmo com a diminuição do rebanho bovino. Isto se deve ao crescimento dos outros rebanhos que compensa a perda causada pelo rebanho bovino, apesar de esse aumento ser pouco significativo.

Os resultados obtidos para as cargas geradas devido ao uso e ocupação do solo estão representados nas Tabelas 24 e 25. Na Tabela 24 estão representados os valores totais correspondentes ao tipo de uso e ocupação do solo que são as áreas destinadas à agricultura, áreas destinadas a florestas ou matas, áreas destinadas à pastagem e áreas destinadas a urbanismo. A Tabela 25 apresenta os valores gerados devido ao uso e ocupação do solo englobando os quatro tipos de ocupação de solo considerados anteriormente.

**Tabela 24 – Cargas totais por área de uso e ocupação do solo ao longo dos anos.**

| <b>Ano</b> | <b>Uso e Ocupação do Solo</b> | <b>Área Estimada</b> | <b>Taxa de Crescimento</b> | <b>Carga Total Escherichia coli</b> |
|------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 2018       | Agricultura                   | 19325,22             | 284,70                     | $1,93 \times 10^8$                  |
| 2020       | Agricultura                   | 19894,63             | 284,70                     | $1,98 \times 10^8$                  |
| 2030       | Agricultura                   | 22741,68             | 284,70                     | $2,27 \times 10^8$                  |
| 2040       | Agricultura                   | 25588,73             | 284,70                     | $2,56 \times 10^8$                  |
| 2050       | Agricultura                   | 28435,78             | 284,70                     | $2,84 \times 10^8$                  |
| 2018       | Mata                          | 47877,24             | 325,44                     | $4,79 \times 10^5$                  |
| 2020       | Mata                          | 48528,13             | 325,44                     | $4,85 \times 10^5$                  |
| 2030       | Mata                          | 51782,58             | 325,44                     | $5,17 \times 10^5$                  |
| 2040       | Mata                          | 55037,03             | 325,44                     | $1,50 \times 10^5$                  |
| 2050       | Mata                          | 58291,48             | 325,44                     | $5,83 \times 10^5$                  |
| 2018       | Pastagem                      | 66516,53             | -4390,41                   | $6,65 \times 10^{10}$               |
| 2020       | Pastagem                      | 57735,71             | -4390,41                   | $5,73 \times 10^{10}$               |
| 2030       | Pastagem                      | 13831,61             | -4390,41                   | $1,38 \times 10^{10}$               |
| 2040       | Pastagem                      | 0,00                 | -4390,41                   | 0,00                                |
| 2050       | Pastagem                      | 0,00                 | -4390,41                   | 0,00                                |
| 2018       | Urbano                        | 133193,45            | 1166,00                    | $1,33 \times 10^{13}$               |
| 2020       | Urbano                        | 135525,45            | 1166,00                    | $1,35 \times 10^{13}$               |
| 2030       | Urbano                        | 147185,45            | 1166,00                    | $1,47 \times 10^{13}$               |
| 2040       | Urbano                        | 158845,45            | 1166,00                    | $1,58 \times 10^{13}$               |
| 2050       | Urbano                        | 170505,45            | 1166,00                    | $1,70 \times 10^{13}$               |

Taxa de Crescimento: (área/ano)

Escherichia coli: NMP/dia.

Na Tabela 24, nota-se que a taxa de crescimento das áreas destinadas à pastagem apresenta-se com uma diminuição, podendo ser justificado pela a diminuição na criação de bois como citado anteriormente. Para os outros sistemas de uso e ocupação do solo, podemos notar uma constância nos valores estimados.

**Tabela 25 - Cargas totais de uso e ocupação do solo ao longo dos anos.**

| <b>Ano</b>  | <b>Carga Total Escherichia coli</b> |
|-------------|-------------------------------------|
| <b>2018</b> | $1,33 \times 10^{13}$               |
| <b>2020</b> | $1,35 \times 10^{13}$               |
| <b>2030</b> | $1,47 \times 10^{13}$               |
| <b>2040</b> | $1,58 \times 10^{13}$               |
| <b>2050</b> | $1,70 \times 10^{13}$               |

Escherichia coli: NMP/dia.

Na tabela 25, vemos também, uma constância na estimativa da carga total de *E. coli* ao longo dos anos, em virtude do uso e ocupação do solo também apresentarem mudanças pouco significativas.

Na Tabela 26 encontram-se representados os valores da carga total de *E. coli* gerados pela população, pecuária e uso e ocupação do solo. Conforme o esperado os aumentos nas cargas totais se apresentam pouco significativos com passar dos anos. Estes valores não corroboram com os valores encontrados por Tschiedel (2013), onde o mesmo encontrou um aumento significativo de cargas para o rio Macaé no estado do Rio de Janeiro.

**Tabela 26 – Carga total final de Escherichia coli gerados pela população, pecuária e uso e ocupação do solo ao longo dos anos.**

| Ano  | Carga Total <i>Escherichia coli</i> |
|------|-------------------------------------|
| 2018 | 2,28x10 <sup>15</sup>               |
| 2020 | 2,30x10 <sup>15</sup>               |
| 2030 | 2,45x10 <sup>15</sup>               |
| 2040 | 2,60x10 <sup>15</sup>               |
| 2050 | 2,77x10 <sup>15</sup>               |

*Escherichia coli*: NMP/dia.

Nas Tabelas 27 e 28 encontram-se os resultados da estimativa da carga poluente lançada no Rio Todos os Santos e da concentração de *E. coli* a partir do presente ano até o ano de 2050, considerando a população estimada nos respectivos anos.

**Tabela 27- Carga de esgoto doméstico destinada a ETE e lançada no rio Todos os Santos com previsões para até o ano de 2050.**

| Ano  | População Estimada | Índice de atendimento | Carga Individual | Carga Destinada a ETE | Índice de Eficiência da ETE | Carga Lançada no rio  |
|------|--------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 2018 | 142961             | 95%                   | 10000000000      | 1,35x10 <sup>15</sup> | 99%                         | 1,35x10 <sup>13</sup> |
| 2020 | 145015             | 95%                   | 10000000000      | 1,37x10 <sup>15</sup> | 99%                         | 1,37x10 <sup>13</sup> |
| 2030 | 155285             | 95%                   | 10000000000      | 1,47x10 <sup>15</sup> | 99%                         | 1,47x10 <sup>13</sup> |
| 2040 | 165555             | 95%                   | 10000000000      | 1,57x10 <sup>15</sup> | 99%                         | 1,57x10 <sup>13</sup> |
| 2050 | 175825             | 95%                   | 10000000000      | 1,67x10 <sup>15</sup> | 99%                         | 1,67x10 <sup>13</sup> |

Carga (NMP/dia).

Na Tabela 27 encontram-se também, os dados do índice de atendimento, que é o valor em porcentagem do número de habitantes que apresentam esgotamento sanitário



encanado em suas casas. A carga destinada a ETE será, portanto, o valor de contribuintes multiplicado pela carga individual. O índice de eficiência avalia a capacidade de redução de carga de uma determinada Estação de Tratamento de Esgoto, e neste caso atribuiu-se um valor de alta eficiência de 99% de redução nas cargas geradas pela população. A carga lançada no rio corresponde ao esgoto tratado e reduzido pelo índice de eficiência da ETE.

**Tabela 28 – Concentração de *Escherichia coli* no ponto de mistura entre um determinado ponto de lançamento de esgoto doméstico e as águas do rio Todos os Santos com estimativas até o ano de 2050.**

| Ano  | Vazão do rio<br>(mL/dia) | Concentração<br>no rio<br>(NMP/ml) | Vazão do<br>Esgoto<br>(mL/dia) | Carga Esgoto<br>tratado<br>(NMP/dia) | Concentração<br>na Mistura<br>(NMP/ml) |
|------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 2018 | 29488320000              | 10,00                              | 21730072000                    | 1,35E+13                             | 269,33                                 |
| 2020 | 29488320000              | 10,00                              | 22042280000                    | 1,37E+13                             | 271,58                                 |
| 2030 | 29488320000              | 10,00                              | 23603320000                    | 1,47E+13                             | 282,43                                 |
| 2040 | 29488320000              | 10,00                              | 25164360000                    | 1,57E+13                             | 292,66                                 |
| 2050 | 29488320000              | 10,00                              | 26725400000                    | 1,67E+13                             | 302,32                                 |

Os dados de concentração de *Escherichia coli* no ponto de mistura, que corresponde ao local onde os despejos são lançados estão apresentados na Tabela 28. Como pode ser observado, estes valores se apresentam altos se comparados com a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, que é de 10NMP/mL, pois o corpo receptor leva um tempo para que suas equações de equilíbrio (autodepuração do rio) comecem a diminuir a carga lançada. Os valores destas concentrações apesar de serem altas, variam pouco de um ano para o outro, e isto se deve ao baixo índice de crescimento populacional da região e dos cálculos considerados de apenas 1027 hab./dia.

Na Tabela 29, são apresentados os valores das concentrações de *Escherichia coli* em virtude da distância do ponto de lançamento de um esgoto.

**Tabela 29 – Comportamento da concentração de *Escherichia coli* na mistura entre um determinado ponto de lançamento de esgoto doméstico e as águas do rio Todos os Santos em virtude da distância do ponto de lançamento com estimativas até o ano de 2050.**

| Distância(m) | Tempo(dia) | Ct (2018) | Ct (2020) | Ct (2030) | Ct (2040) | Ct (2050) |
|--------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,00         | 0,00       | 269,33    | 271,58    | 282,43    | 292,66    | 302,32    |
| 10000,00     | 0,33       | 179,47    | 180,97    | 188,20    | 195,02    | 201,45    |
| 20000,00     | 0,66       | 119,59    | 120,59    | 125,41    | 129,95    | 134,24    |
| 30000,00     | 0,99       | 79,69     | 80,36     | 83,57     | 86,60     | 89,45     |
| 40000,00     | 1,49       | 43,08     | 43,44     | 45,18     | 46,82     | 48,36     |
| 50000,00     | 1,65       | 35,39     | 35,68     | 37,11     | 38,45     | 39,72     |

Ct (NMP/ml).

Nota-se, que a quantidade de *E. coli* tende a diminuir devido a taxa de decaimento bacteriano. Entretanto, para todos os casos analisados de estimativas futuras tem-se que mesmo a distâncias de 50 Km do ponto de lançamento e mesmo se o rio estiver dentro do limite da lei de 10 NMP/ml antes do corpo receber as cargas de poluentes oriundas da ETE, e mesmo para uma eficiência de 99% da ETE local (eficiência de países desenvolvidos), os valores das concentrações finais encontram-se bem acima dos 10 NMP/ml exigidos. Sperling (2014) relata que existe uma grande dificuldade em se alcançar lançamentos de esgotos com baixas concentrações globais de *Escherichia coli*, e que grandes estudos e esforços devem ser empreendidos para resolução do problema em questão.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos índices físico-químicos estarem, na maioria dos casos, em conformidade com os padrões impostos pela Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, os parâmetros quantificação de *Escherichia coli* e condutividade encontraram-se em todos os anos analisados fora dos limites preconizados, indicando que existe um alto índice de contaminação por resíduos fecais no trecho analisado, e uma grande quantidade de matéria orgânica. Ao se comparar os valores dos parâmetros avaliados em nossas coletas com os valores obtidos pelo IGAM observa-se algumas discrepâncias nos dados, principalmente na quantificação de *Escherichia coli* que em nossas determinações estão bem acima dos valores disponibilizados pelo IGAM.

Com relação aos 19 elementos químicos analisados, apenas o alumínio e o ferro encontraram-se acima dos valores limites da Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, sendo que esses metais em excesso nos organismos podem provocar reações adversas a saúde humana, apontando o alumínio com relação ao Mal de Alzheimer.

No cálculo de Análise de Risco, as Doses Médias Diárias para todos os elementos encontraram-se dentro do limite das Doses de Referências Médias, entretanto, os metais ingeridos por nosso organismo através da água de beber corresponde apenas a uma parte destes elementos presentes na dieta total, e nesse caso, esses valores médios diários poderiam ser ultrapassados. Os Índices de Risco também se apresentaram abaixo de 1, não indicando riscos maiores a saúde humana, bem como o valor de Risco de Câncer que para o cromo também esteve dentro dos limites. Entretanto, vale ressaltar que o Índice de Risco apresentou aumento com passar dos anos avaliados, e que se este aumento continuar, em tempos futuros pode vir a ultrapassar as doses de referência diárias e trazer para a população graves consequências a saúde.

No cálculo do IQA, para os anos de 2012, 2015 e 2018 todos foram classificados como médios não havendo diferenças numéricas para as coletas feitas em nosso trabalho e as coletas realizadas pelo IGAM. O IET calculado para todos os anos, manteve o rio dentro da classe de oligotrófico.

Na análise das tendências comportamentais dos IQAs ao longo dos anos, para os resultados analisados dos dados disponíveis pelo IGAM observou-se que com exceção dos anos de 1999, 2002, 2004 e 2005 que todos os outros anos apresentaram resultados semelhantes, sendo o pior índice observado para 2002 e o melhor para 1998. Ao se analisar a equação que descreve a tendência comportamental deste parâmetro ao longo dos anos, observou-se que o

mesmo tende a uma melhora de 0,15 ao ano, o que é muito irrisório para a melhora do quadro de qualidade da água do Rio Todos os Santos.

Para as análises de estimativas de cargas futuras observou-se que haverá poucas alterações de 2018 para 20150. Com relação ao comportamento das concentrações de *Escherichia coli* para pontos distantes do lançamento dos resíduos, observou-se que apesar da grande redução e do cenário hipotético com uma ETE atuando em alta eficiência na nossa região, os valores ainda assim se encontram acima dos limites exigidos pela lei.

De forma geral, pôde-se constatar que o rio Todos os Santos apresenta grande poluição de material de origem fecal, e que esta poluição será mantida nos próximos anos, caso não haja uma mudança na tecnologia e nos procedimentos adotados pela Estação de Tratamento de Esgoto local e nas políticas de saneamento regional.

Este fato é de grande preocupação, visto que a qualidade da água desse rio encontra-se fora do preconizado pelas normas vigentes em nosso país.

## 7 REFERÊNCIAS

ADRIETTI, G. et al. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico do Rio Caiabi, MT. **Ambiente e Água**, Taubaté, p. 162, 10 jan. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Portal HidroWeb**. Brasília: [s. d.].  
Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf> >. Acesso em 13 jan. 2018.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **List of Hazardous substances, 2012**. Atlanta, 2012. Disponível em:  
<<http://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>>. Acesso em: 28 jan 2018.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological Profile for Aluminium**. Atlanta, 2008. Disponível em: <  
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=190&tid=34>>. Acesso em: 28 jan 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for barium and barium compounds**. Atlanta. 2007. Disponível em:<  
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for beryllium**. Atlanta: 2002. Disponível  
em:<<https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=184&tid=33>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for cadmium**. Atlanta: 2008. Disponível <  
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=47&tid=15>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for chromium**. Atlanta,:2001. Disponível em:  
<<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological Profile for Cobalt**. Atlanta: 2004. Disponível em:  
<<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf>>. Acesso em: 28 jan 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for copper**. Atlanta: 2004. Disponível <  
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=205&tid=37>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for lead**. Atlanta: 2005. Disponível em:  
<<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for manganese**. Atlanta: 2012. Disponível <  
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=101&tid=23>>Acesso em: 28 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for mercury**. Atlanta: 1999. Disponível < <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=113&tid=24>> Acesso em: 28 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for selenium**. Atlanta: 2003. Disponível < <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=152&tid=28>> Acesso em: 28 dez. 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for uranium**. Atlanta: 2013. Disponível < <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=439&tid=77>> Acesso em: 28 dez. 2017.

AGUIAR, V. L. B. **Estimativa de Vazão dos Cursos D'água que Compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Todos os Santos**: Uma abordagem utilizando Sistemas de Informações Geográficas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Hídrica), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2014.

ALVES, E. C. et al. Avaliação da Qualidade da Água da Bacia do Rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos. **Sistema de Informação Científica**, Maringá, v.30, n.1, p. 39-48, 2012.

ARAL; HAL; VECCHIO-SADUS; ANGELICA. Toxicity of lithium to humans and the environment: A Literature Review. **Ecotoxicology and environmental safety**, Clayton South, p. 349-356, 13 ago. 2008.

ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. **Apresentação**. Minas Gerais. [s. d.]. Disponível em: < <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/> >. Acesso em 13 jan. 2018.

BLODGETT, F. **Bacteriological Analytical Manual**. 8 ed. USA: Hypertext Source, 2003.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**: O desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: ABDR, 2005.

BRASIL. Decreto Regulamentar nº06, de 05 de maio de 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 5 mai. 2001. I Série B, p.2613.

BRASIL. Portaria nº2914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 dez. 2011. I Série D, p.1211.

BROBERG, K. et al. Lithium in drinking water and thyroid function. **Environmental Health Perspective**, Lund, v. 119, n.6, p 827-830, 14 set. 2011.

BROWMIK, A. K. et al. Mapping human health risks from exposure to trace metal contamination of drinking water sources in Pakistan. **Science of The Total Environment**, v. 538, p. 306 – 316, 2015.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de Variáveis de Qualidade da Água do Horto Ouro Verde – Conchal – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p. 742-748, 2005.

COOK, J.D; BAYNES, R. D.; SKIKNE, B. S. Iron deficiency and the measurement of iron status. **Nutrition Research Reviews**, USA, p 189-202, 17 dez. 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Coleta de amostras de águas de rios**. São Paulo: 2010. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso: 1 out. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade de águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2015-2016**. São Paulo: 2017. Disponível em :< [http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasInteriores\\_2016\\_corre%C3%A7%C3%A3o02-11.pdf](http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2016_corre%C3%A7%C3%A3o02-11.pdf)>. Acesso em 1 de out. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 mar. 2005. P. 58-63.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICAS AMBIENTAIS (COPAM); CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CERH). Deliberação Normativa Conjunta nº01, de 05 de maio de 2008. **Diário Executivo de Minas Gerais**. 2005.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPSA). **Tratamento de Esgoto em Teófilo Otoni**. Minas Gerais: 2014. Disponível em:<[http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/releases/rel2015/janeiro15rel/tratamento-de-esgoto-e-realizado-em-teofilo-otoni/!ut/p/a0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwdPby9Dbz8gzddDBY9g\\_zd\\_T2dgvx8zfULsh0VAfwq3lw!/>](http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/releases/rel2015/janeiro15rel/tratamento-de-esgoto-e-realizado-em-teofilo-otoni/!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwdPby9Dbz8gzddDBY9g_zd_T2dgvx8zfULsh0VAfwq3lw!/). Acesso em: 11 mai. 2018.

DELAFIORI, J. RING, G. e FUREY, A. Clinical applications of HPLC-ICP-MS element speciation: A review. **Talanta**, v. 153, p.306-331, 2016.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Cabelo**. 2006. 136 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

FARACHE FILHO, A.; DIAS, M. F. F. Qualidade microbiológica de águas minerais em galões de 20 litros. **Alimentos e Nutrição Araquara**, Araraquara, v.19, n. 3, p. 243-248, 2008.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual Prático de Análise de Água**. 4ª ed. Brasília: Funasa, 2013.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O.M.; ALMEIDA, L. MARIA DE. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, p-651-660, 13 jun. 2001.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da Água de Nascentes Urbanas no Município de Piracicaba – SP**. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GIRI, S.; SINGH, A.K. Human Health Risk Assessment Via Drinking Water Pathway Due to Metal Contamination In The Groundwater of Subarnarekha River Basin, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, Índia, p 63-77, 3 fev. 2015.

GOMES, M. A. F. **Água: sem ela seremos o planeta marte de amanhã**. Brasília: 2011. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/down\\_hp/464.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2016.

GUEVARA, M. V. M., **Estudo da incorporação de urânio em osso de ratos Wistar e cães Beagle, utilizando técnicas nucleares**. São Paulo: Universidade/USP, 2012.

GUIMARÃES, G. A. **Aspectos ambientais e toxicológicos dos metais pesados**. Pará: 2000. (Apostila do Curso Aspectos Ambientais e Toxicológicos dos Metais Pesados - CREA-PA). Disponível em: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/aspectos\\_ambientais\\_e\\_toxicologicos\\_dos\\_metalis\\_pesados.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/aspectos_ambientais_e_toxicologicos_dos_metalis_pesados.html). Acesso em: 15 dez 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Institucional**. Brasília: [s. d.]. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/institucional/o-ibge.html> > Acesso em 13 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Brasília: 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Censo 2010**. Brasília: 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 4 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 1995**. Brasília: 1995. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/downloads-estatisticas.html> >. Acesso em: 4 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**. Brasília: 2006. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/downloads-estatisticas.html> >. Acesso em: 4 out. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri**: Minas Gerais. [s.d]. Disponível em: < <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/158?task=view> >. Acesso em: 4 fev. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Calculadora de IQA e CT**: Minas Gerais. [s.d]. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/calculadora-de-iqa-e-ct/calculadora-de-iqa>>. Acesso em: 4 fev. 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Mapas**. Belo Horizonte: [s.d]. Disponível em: <[http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=89&](http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=89&)>. Acesso em: 4 fev. 2017.



INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Portal Info-Hidro**. Belo Horizonte: [s.d]. Disponível em:< <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais em 2016**: Resumo Executivo. Belo Horizonte: 2017. Disponível em: < <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/publicacoes-tecnicas/qualidade-das-aguas/qualidade-das-aguas-superficiais/relatorios-de-avaliacao-de-qualidade-das-aguas-superficiais/relatorios-anuais/12171-2016>>. Acesso em: 2 jun. 2017.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH OF CANCER (IARC). **Agents Reviewed By The Iarc Monographs**. 2004. Disponível em <<http://monographs.iarc.fr/monoeval/Listagentsalphorder.pdf>>. Acesso em: 2 jan. 2018.

KATZUNG, B. G. **Farmacologia Básica e Clínica**. 8 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 207f. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Ecologia, São Paulo, 2004.

LARENTIS, G. D. **Modelagem Matemática da Qualidade de Água em Grandes Bacias**: Sistema Taquari-Antas, RS. 2004. 159f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LAWRENCE, M.G. et al. Direct quantification of rareearth element concentrations in natural waters by ICP-MS. **Applied Geochemistry**, Australia, p.839-848, 05 mai. 2006.

LIU, J.; GOYER, R. A.; WAALKES, M. P. Efeitos Tóxicos dos Metais. In: KLAASSEN, C. D.; WATKINS III, J. B. **Fundamentos em Toxicologia de Casaret e Doull**. 2. ed. Porto Alegre: AMG, 2012. p. 327-336.

LODISH, H., et al. **Biologia Celular e Molecular**. 7. ed. São Paulo: Artmed, 2014.

MACEDO, J. A. B. **Águas & águas**. 1. ed. São Paulo: Varela, 2001.

MACEDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 2 ed. Belo Horizonte, MG: 2003.

MELO, G. K. R. M. M. et. al. **Histórico Evolutivo Legal dos Recursos Hídricos no Brasil**: Uma análise da Legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental. Brasília: 2013. Disponível em:< [http://www.ambitojuridico.com.br/site/?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=11606](http://www.ambitojuridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=11606)>. Acesso em: 28 jan. 2018.

MIGUEL, E. D. et al. Risk based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain). **Chemosphere**, Spain, p. 505–513, 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 dez. 2011. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em 05 jan. 2018.

MOREIRA, F. R. et al. Influência da Geometria da plataforma na determinação de chumbo em Zidouvdina. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 379-383, 2002.

MOURA, A. C.; ASSUMPÇÃO, R. A. B.; BISCHOFF, J. Monitoramento Físico-Químico e Microbiológico da Água do Rio Cascavel Durante o Período de 2003 e 2006. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, p. 17, mar. 2009.

NATIONAL SAFETY COUNCL (NSC). **Lead Poisoning**. Itasca: 2004. Disponível em :<<http://www.nsc.org/library/facts/lead.htm>> Acesso em 28 de dezembro de 2017.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de Parâmetros Físico-Químicos da Água e do Uso e Ocupação do Solo na Sub-Bacia do Córrego da Água Branca no Município de Nerópolis – Goiás**. 2015. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

NORDBERG, G.F. et al. **Handbook on the Toxicology of Metals**. 3 ed. Londres: Elsevier, 2007.

NUNES, E.A et al. Genotoxic Assessment on River Water Using Different Biological Systems. **Chemosphere**, Rio Grande do Sul, p. 47, 20 fev. 2011.

OLIVEIRA, S.P. et al. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v. 137, p. 508-516, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Water for Life Decade**: Water scarcity. UNDP, 2006.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **5 steps for planning and evaluating world water day activities**. World Health Organization, 2008.

OROUJI, H. et. al. Modeling Of Water Quality Parameters Using Data-Driven Models. **Journal Of Environmental Engineering**, Reston, p.947-957, 20 fev. 2013.

PELCZAR, M. J.; CHAN, E.C.S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

REBOUÇAS, A. C. A Sede Zero. **Ciência e Cultura**, São Paulo, p. 33-35, 12 dez. 2003.

RIBEIRO, F.B. **Tratamento de Água Micropoluentes de Selênio**, 2002. Disponível em :<<http://www.tratamentodeagua.com.br/a1/informativos/index.php>> Acesso em 09 out. 2017.

ROESER, P.A. et al. Lithostratigraphic and geochronological framework for the paleoenvironmental reconstruction of the last 36 ka cal BP from a sediment record from Lake Iznik (NW Turkey). **Quaternary International**, v. 274, p. 73-87, 2012.

RUPPENTHAL, J. E. **Toxicologia**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013.

SANTOS, A. F. Contribuição Potencial de Cargas Poluentes na Bacia do Rio das Pedras, no Município de Guarapuava- PR. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Paraná, v. 5, n.1, p 33-46, 2003.

SILVA, M. A. F.P. et al. Tipificação das práticas dos sistemas de produção agrícola ao longo da bacia do Rio Todos os Santos. In:\_\_\_\_\_.**Expedição Rio Todos os Santos**: Rio De Todos Que Te Queremos Santo. Belo Horizonte: 2006. cap7, p. 84-86.

SILVA, M. A. F.P; GODINHO, A.L de F. Expedição Rio Todos os Santos. In: SILVA, M.A.F.P et al. **Expedição Rio Todos os Santos**: Rio De Todos Que Te Queremos Santo. Belo Horizonte: 2006. cap 2, p. 24-28.

SILVA, M.A.F.P. Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri. In: GODINHO, A.L. de F. **Expedição Mucuri**. Belo Horizonte: 2010. p. 61-64.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2014.

TSCHIEDEL, A. F. **Modelagem da Qualidade de Água para Cenários Futuros Através do Modelo Qual- 2k**: Um Estudo de Caso para o Rio Macaé, RJ. 2013. 119f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Human Health Risk Assessment: United States**. [s.d]. Disponível em: <<https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Tolerable Daily Intake: United States**. [s.d]. Disponível em: <[http://www.popstoolkit.com/tools/HHRA/TDI\\_USEPA.aspx](http://www.popstoolkit.com/tools/HHRA/TDI_USEPA.aspx)>. Acesso em: 05 jan. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Slope Factors: United States**. [s.d]. Disponível em: <[http://www.popstoolkit.com/tools/HHRA/SF\\_USEPA.aspx](http://www.popstoolkit.com/tools/HHRA/SF_USEPA.aspx)>. Acesso em: 05 jan. 2018.

VIEHBERG, F.A. et al. (2012) Seasonal hydrochemical changes and spatial sedimentological variations in Lake Iznik (NW Turkey). **Quaternary International**, v. 274, p. 102-111.

VITAMINAS & SAIS MINERAIS – SELÊNIO. 2005. Disponível em :< [http://www.emedix.com.br/vit/vit030\\_1f\\_selenio.php](http://www.emedix.com.br/vit/vit030_1f_selenio.php)>. Acesso em :28 de jan. 2018.

WORD HEALTH ORGANIZATION. **Beryllium**. Geneva, 2001.

WORD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Environmental Health Criteria 61- chromium. **Environment programme, the Internacional Labour Organization, and the world Health Organization**, Geneva, p. 88-97, 12 out. 1999.

WORD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Silver in Drinking Water**. 2003. Disponível em < [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/silver.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/silver.pdf)>. Acesso em :20 jan. 2017.

WU, B. et al. Health risk from exposure of organic pollutants through drinking water consumption in Nanjing, China. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, China, p. 46–50, 2010.

YANG, X. et al. Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China. **Environ Monit Assess**, EUA, p. 111, 12 fev. 2015.